Junker

Das Gesetz der Bewegung

des

fließenden Wassers,

mathematisch
begründet, mit Andeutungen, wie die entwickelten Formeln zur
Berechnung der Erfolge der Flußregulirungen anzuwenden sind.

Im Interesse des Flußbaues

mitgetheilt,

von

Junker,
Königlichem Regierungs- und Baurath.

Coblenz, 1866.
Handlung, Buchdruckerei und Buchbinderei des evangel. Stifts zu St. Martin.
(J. F. Kehr.)

Vorwort.

Die Theorie der Bewegung der Körper, sogar die der Bewegung der Weltkörper, ruht nach langem Kampfe der Vertheidiger verschiedener Hypothesen auf fester Basis, nur an einer Theorie der Bewegung des fließenden Wassers fehlt es noch immer. Das Gesetz dieser Bewegung ist zwar bekannt, aber durch Versuche in kleinen Bächen und Gerinnen ermittelt und durch Beobachtung an größeren Flüssen, als auf diese ebenfalls anwendbar, anerkannt worden.

Die Formeln zur Berechnung der Wassermenge und der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen sind also gefunden, entbehren jedoch des mathematischen Beweises der Richtigkeit, weshalb sie nicht von Allen als maßgebend anerkannt werden. Dagegen steht mathematisch, so weit dies in der angewandten Mathematik möglich ist, fest, wie viel Wasser aus einem bis zum Rande gefüllten Behälter, durch eine in einer Seitenwand desselben befindliche, bis zu dessen Rande reichende Oeffnung in einer Secunde ausfließt. Es dürfte nicht bestritten werden können, daß dies ausfließende Wasser ebenfalls fließendes Wasser ist. Die Voraussetzung, daß alles fließende Wasser demselben Gesetze unterworfen sei, welches für das ausfließende Wasser gilt, liegt daher nahe. Die bekannte Theorie ist nur weiter zu verfolgen, um entsprechende Formeln zur Berechnung der Wassermenge, die ein Fluß führt und der Geschwindigkeit des fließenden Wassers, **a priori**, herzuleiten.

Ohne die Bemühungen, selbst zu dem gewünschten Resultat zu gelangen, aufzugeben, jedoch die Schwierigkeit, welche die Lösung dieser Aufgabe für denjenigen hat, der im Entwickeln mathematischer Formeln wenig geübt ist, nicht verkennend, habe ich mich der Hoffnung hingegeben, daß Hydrotekten oder Mathematiker sich für die Ausfüllung der Lücke in der Hydraulik interressiren und mir zuvorkommen würden, weshalb in dem Schriftchen „Betrachtungen über das, bei der Schiffbarmachung der Gebirgsflüsse, in neuerer Zeit, beobachtete Verfahren ꝛc." auf die Anwendung der bekannten Formel, auf welche die Theorie zu gründen sein möchte, hingewiesen worden ist.

Diese Hoffnung scheint nicht in Erfüllung zu gehen, in den nachstehenden Zeilen wird deshalb das Resultat der eigenen Bestrebungen mitgetheilt.

Die **a priori** gefundenen Formeln sind nicht allein zur Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers und der Wassermenge geeignet, sondern können auch bei anderen Ermittelungen Anwendung finden, wie in den nachstehenden Zeilen durch Beispiele dargethan ist. Es dürfte keinem Zweifel unterliegen, daß mit Hülfe derselben die Erfolge aller Veränderungen, die an und in einem Fluße beabsichtigt werden, sofern dieselben auf die Bewegung des Wassers einen Einfluß haben, vorausberechnet werden können.

Wie in dem Vorwort erwähnt worden ist, kann die bekannte Eytelwein'sche Formel zur Berechnung der Wassermenge, welche in einer Secunde durch eine in der Seitenwand eines Behälters befindliche, bis zum oberen Rande desselben reichende, Oeffnung ausfließt, wenn der Behälter stets gefüllt erhalten wird, zur Berechnung der Wassermenge, die ein Fluß führt, so wie zur Ermittelung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in demselben, dienen, außerdem aber bei der Beurtheilung der Erfolge projectirter Fluß-Correctionen eine ausgedehntere Anwendung finden. Diese Formel soll deshalb hergeleitet werden, während der ersten Lehren der Hydraulik nur wegen der Bedeutung der Buchstaben gedacht wird.

§ 1. Es bezeichnet **M** die Wassermenge, welche in einer Secunde aus einer Oeffnung ausfließt; **a** den Querschnitt der Oeffnung; **c** die mittlere Geschwindigkeit des ausfließenden Wassers; **h** die Druckhöhe; **g** die Länge des Weges, welchen ein im luftleeren Raume frei fallender Körper in der ersten Secunde zurücklegt.

Bekanntlich ist:

$c = 2 \sqrt{(g h)} = 7{,}9 \sqrt{h} = \alpha \sqrt{h}$;

$M = a c = 7{,}9\, a \sqrt{h} = \alpha a \sqrt{h}$;

α ist $= 2 \sqrt{g} = 7{,}9$, wenn keine Contraction stattfindet, im entgegengesetzten Falle hat es andere, durch Versuche ermittelte Werthe.

Wenn die großen Buchstaben dieselbe Bedeutung haben, wie die kleinen, so ist:

$$C : c = \sqrt{H} : \sqrt{h} \text{ oder}$$

$$C^2 : c^2 = H : h.$$

§ 2. Befindet sich in der Seitenwand eines Behälters von der Höhe **h** eine ebenso hohe Oeffnung von der Breite **b**, und

wird der Behälter stets bis zum Rande gefüllt erhalten, so wird, nach Eytelwein, die in jeder Secunde ausfließende Wassermenge in folgender Weise gefunden:

Man denke sich die Oeffnung von unten bis oben in unendlich kleine Streifen getheilt, so ist die Druckhöhe in dem obersten Streifen unendlich klein und wächst für jeden folgenden Streifen, es muß also auch die Geschwindigkeit des aus jedem Streifen ausfließenden Wassers von oben nach unten wachsen. Die größte Geschwindigkeit findet sich also in dem Streifen zunächst am Boden. Dieselbe sei $= C$.

Trägt man eine dem Werthe von C entsprechende Länge als Ordinate in dem Streifen am Boden des Behälters auf h ab, und in irgend einem anderen Streifen in der Entfernung x vom Rande des Behälters ebenfalls eine Ordinate, deren Länge der Größe der in diesem Streifen vorhandenen Geschwindigkeit y entspricht, so verhält sich:

$$y : C = \sqrt{x} : \sqrt{h}, \text{ also}$$
$$y^2 : C^2 = x : h.$$

Da dies für jede andere Abscisse und Ordinate gilt, so ist eine durch die Endpunkte der verschiedenen Ordinaten gezogene Linie eine Parabel. Der Inhalt dieser Parabelfläche ist $= \frac{2}{3}\, C\, h$, die ausfließende Wassermenge

$$M = \tfrac{2}{3}\, b\, h\, C.$$

Da aber, nach § 1, $C = \alpha \sqrt{h}$ ist, so ergiebt sich

$$\text{I, } M = \tfrac{2}{3}\, \alpha\, b\, h \sqrt{h}.$$

Um die mittlere Geschwindigkeit c zu finden, ist, da $M = a\, c = b\, h\, c$ ist, die Wassermenge durch die Querschnittsfläche $b\, h$ zu dividiren; es ist also $c = \dfrac{\frac{2}{3}\, \alpha\, b\, h \sqrt{h}}{b\, h}$ also

$$\text{II, } c = \tfrac{2}{3}\, \alpha \sqrt{h}.$$

§ 3. Die Erfahrung lehrt, daß, während das Wasser aus der Oeffnung im Behälter ausfließt, der Wasserspiegel in letzterem nicht eine waagerechte, sondern eine nach der Oeffnung hin geneigte Ebene bildet, deren Neigung sich wie $e : l$ verhalten mag. Die Länge l muß jedenfalls davon abhängig sein, wie groß h ist, und der

Behälter muß die Länge l haben, um der Bedingung, daß er oberhalb bis zum Rande gefüllt bleiben soll, zu entsprechen.

§ 4. Die Formeln I und II § 2 gelten für den Fall, daß das ausfließende Wasser, ohne ein Hinderniß zu finden, frei herabfällt.

Fließt dasselbe aber in einem Gerinne, dessen Querschnitt gleich dem der Oeffnung im Behälter ist, weiter, so findet das ausfließende Wasser in dem langsamer abfließenden einen Widerstand. Giebt man dem Gerinne eine solche Neigung, daß das stets fließende Wasser vor der Ausflußöffnung des Behälters die Höhe von $h - e$ erreicht und regelt den Zu- und Abfluß so, daß der Behälter an seinem oberen Ende ganz, und das Gerinne bis zur Höhe $h - e$ gefüllt bleibt, so muß durch den Raum $(h - e)\, b$, in dem Theile des Behälters, in welchem das Wasser die ganze Höhe h erreicht, nach der Formel I, stets die Wassermenge

$$m = \tfrac{2}{3}\, \alpha\, b\, e \sqrt{e}$$

zu- und abfließen, also ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in dem kleinen Streifen von der Breite b und der Höhe e,

$$= \frac{\tfrac{2}{3}\, \alpha\, b\, e \sqrt{e}}{b\, e} = \tfrac{2}{3}\, \alpha \sqrt{e}.$$

Da nun nach der Voraussetzung der Wasserspiegel im Gerinne dieselbe Neigung hat, wie im Behälter, so ist auch im Gerinne die Geschwindigkeit der obersten Wasserschicht von der Höhe e ebenso groß, also $= \tfrac{2}{3}\, \alpha \sqrt{e}$.

Da ferner, abgesehen von der Reibung oder Adhäsion, die Geschwindigkeit des Wassers in einem regelmäßig geformten Canal in allen Schichten gleich ist, so muß $\tfrac{2}{3}\, \alpha \sqrt{e}$ die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in dem Gerinne oder in einem Flusse sein; wenn die zugehörige Länge l stets dasselbe Maaß hat. Dies Maaß, welches gewöhnlich zu 100° = 1200′ angenommen wird, soll weiter unten ermittelt werden.

§ 5. Zunächst sind die Widerstände in Betracht zu ziehen, welche die Geschwindigkeit des Wassers vermindern. Der Widerstand, den die Luft, bei nicht ungewöhnlicher Bewegung, dem fließenden Wasser entgegensetzt, kann als unbedeutend außer Betracht

gelassen werden. Die Reibung auf der Flußsohle ist gleich der auf dem Boden des Behälters, wenn man annimmt, daß diesem dieselbe Neigung gegeben sei, welche die Flußsohle hat. Es ist also nur die Reibung an den Seitenwänden zu berücksichtigen. Diese Reibung muß jedenfalls verhältnißmäßig kleiner sein, oder vielmehr einen geringeren Einfluß haben, als die Reibung auf der Flußsohle, weil auf der letzteren das ganze Gewicht des fließenden Wassers lastet, während die Seitenwände die Wassermasse nur zusammenhalten.

Diese Reibungen hören auf, wenn sich in der Sohle oder in der Seitenwand Oeffnungen befinden. Sind solche vorhanden, so fließt durch dieselben Wasser aus und zwar, wenn beide gleich groß sind, aus der im Boden mehr als aus der in der Seitenwand, man kann daher annehmen; daß sich die Reibungen wie die ausfließenden Wassermengen, also wie $1 : \frac{2}{3}$ verhalten.

Als Widerstand, den die Reibung auf der Sohle und an den Wänden darbietet, ist also nicht der ganze benetzte Umfang des Flußprofils, sondern nur die Breite und $\frac{2}{3}$ der Höhe jeder der benetzten Seitenwände in Rechnung zu bringen.

Der im § 4 ohne Berücksichtigung der Reibung an den Seitenwänden entwickelte Ausdruck für die mittlere Geschwindigkeit, $\frac{2}{3}\,\alpha \sqrt{e}$ muß sich, da der Einfluß der Reibung auf der Sohle schon berücksichtigt ist, zu der wirklichen mittleren Geschwindigkeit c verhalten, wie der als benetzter Umfang in Rechnung zu bringende Theil des Profilumfanges zur Breite des Flusses, also: $\frac{2}{3}\,\alpha \sqrt{e} : c = (b + \frac{4}{3}\,h) : b$; Es ergiebt sich daher der Ausdruck: $c = \dfrac{\frac{2}{3}\,\alpha\, b \sqrt{e}}{b + \frac{4}{3}\,h}$.

§ 6. Läßt man, um eine allgemein gültige Formel für die Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen von verschiedenen Abmessungen zn finden, zunächst die Reibung an den Seitenwänden außer Betracht, so verhalten sich bei gleich tiefen Flüssen, wenn die großen Buchstaben dieselbe Bedeutung haben wie die kleinen, die mittleren Geschwindigkeiten wie $\frac{2}{3}\,\alpha \sqrt{e} : \frac{2}{3}\,\alpha \sqrt{E}$ oder $= \sqrt{e} : \sqrt{E}$.

Nach § 1 dagegen verhalten sich bei Flüssen von verschiedener Tiefe die Geschwindigkeiten $= \sqrt{h} : \sqrt{H}$ Folglich verhält sich allgemein:

$$c : C = \sqrt{e} . \sqrt{h} : \sqrt{E} . \sqrt{H} = \sqrt{(e\,h)} : \sqrt{(E\,H.)}$$

Bringt man nun die Reibung an den Seitenwänden nach § 5 mit in Rechnung, so ist:

$$c : C = \frac{b\sqrt{(e\,h)}}{b + \frac{4}{3}\,h} : \frac{B . \sqrt{(E\,H)}}{B + \frac{4}{3}\,H}$$, woraus sich

$$C = \frac{c\,(b + \frac{4}{3}\,h)}{b\sqrt{(e\,h)}} . \frac{B\sqrt{(E\,H)}}{B + \frac{4}{3}\,H}$$ ergiebt.

In dieser Formel ist $c\,\frac{b + \frac{4}{3}\,h}{b\sqrt{(e\,h)}}$ die Constante, deren Werth zu suchen ist.

§ 7. Die Bewegung eines im luftleeren Raume frei fallenden Körpers ist eine beschleunigte, dessenungeachtet durchfällt der Körper in der ersten Secunde nur einen Weg von 15,625′, eben so viel beträgt also des Körpers mittlere Geschwindigkeit.

Denselben Weg würde frei fallendes Wasser im luftleeren Raume in der ersten Secunde mit der mittleren Geschwindigkeit von 15,625′ zurücklegen.

Da die Bewegung des Wassers in einem regelmäßigen Flußbette mit gleichem Gefälle eine gleichförmige ist, so kann die größte Geschwindigkeit, die das Wasser fließend erlangt, nicht größer sein, als die mittlere eines während der ersten Secunde frei fallenden Körpers oder frei fallenden Wassers, sie kann also höchstens 15,625′ betragen.

Denkt man sich eine Parabel, deren Grundlinie gleich ist der Geschwindigkeit, welche ein frei fallender Körper am Schlusse der ersten Secunde erreicht hat, also = 31,25′ und deren Höhe gleich ist der Länge des durchfallenen Weges, also = 15,625′ und trägt die größte Geschwindigkeit, die fließendes Wasser in einer Secunde erlangen kann, als Ordinate in die Parabel ein, so ergiebt sich, wenn x die zugehörige Abscisse bezeichnet, die Proportion:

$$\sqrt{x} : 15{,}625 = \sqrt{15{,}625} : 31{,}25$$

oder $x : 15{,}625^2 = 15{,}625 : 4.\ 15{,}625^2$

also $x : 1 = 15{,}625 : 4$ und daraus

$$x = 3{,}90625$$

als Druckhöhe zur Erzeugung der größten Geschwindigkeit.

§ 8. Wenn das aus einem Behälter ausfließende Wasser an der Ausflußöffnung eine Wasserstandshöhe von 3,90625 hat, so ist nach §§ 2 und 7. dessen mittlere Geschwindigkeit $c = \frac{2}{3} \alpha \sqrt{h}$, und da $h = 3{,}90625$ ist, so ist: $c = 5{,}267 \sqrt{3{,}90625} = 5{,}267.\ 1{,}98$ also $c = 10{,}4$.

Schließt sich an dem Behälter ein Gerinne an, dessen Neigung $= 3{,}90625 : l$ so gewählt ist, daß das aus dem stets gefüllten Behälter ausfließende Wasser in dem Gerinne durchaus keinen Widerstand findet, so muß auch in dem bis zur Höhe von 3,90625' gefüllten Gerinne die mittlere Geschwindigkeit des Wassers $c = 10{,}4'$ sein.

Man kennt also jetzt die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einem Gerinne oder Flusse von rot: 3,906' Tiefe, unbestimmter Breite, mit einem Gefälle von rot: 3,906' : l.

§ 9. Es bleibt ferner die Länge l und die Breite b zu ermitteln. Die Länge l ist $= 15{,}625.\ 10{,}4 = 162{,}5'$.

Da man aber gewöhnlich das Gefälle $E : L$ für eine Länge von $100^0 = 1200'$ angiebt, so ist e, wenn $L = 1200$ genommen wird, entsprechend zu vergrößern.

Es verhält sich:

$$E : 1200 = e : 162{,}5, \text{ oder}$$

$$E : 1200 = 3{,}9 : 162{,}5; \text{ also ist:}$$

$$E = 28{,}8.$$

Das Gefälle ist also $= 28{,}8 : 1200$. Der Werth für b ist aus der im § 5 hergeleiteten Formel

$$c = \frac{\frac{2}{3} \alpha\, b \sqrt{e}}{b + \frac{4}{3} h} \text{ zu entwickeln.}$$

Um aber ein der Länge $L = 1200$ entsprechendes Resultat zu erhalten, ist wie oben $e = E = 28{,}8$ zu setzen. Es ist:

$$b\,c + \tfrac{4}{3}\,h\,c = \tfrac{2}{3}\,\alpha\,b\sqrt{E}$$

$$\tfrac{4}{3}\,h\,c = b\left(\tfrac{2}{3}\,\alpha\sqrt{E} - c\right)$$

$$b = \frac{\tfrac{4}{3}\,h\,c}{\tfrac{2}{3}\,\alpha\sqrt{E}, - c} = \frac{5{,}21.\ 10{,}4}{5{,}266\sqrt{28{,}8} - 10{,}4}$$

$$b = \frac{54{,}184}{5{,}266.\ 5{,}37 - 10{,}4} = \frac{54{,}184}{17{,}878} = 3{,}03.$$

Demnach ist die Constante K, wenn in c. $\frac{b + \frac{4}{3}h}{b\sqrt{(e\,h)}}$ die gefundenen Werthe gesetzt werden:

$$K = 10{,}4\ \frac{3{,}03 + 5{,}21}{3{,}03.\sqrt{(28{,}8.\ 3{,}906)}} = \frac{85{,}696}{32{,}136},$$

$$K = 2{,}66\ \ldots = 2\tfrac{2}{3}.$$

Um in der Wirklichkeit das richtige Verhältniß von E : L zu erhalten, darf nicht die zwischen dem Anfangs- und Endpunkt von L auf einem der Ufer gemessene Länge in Rechnung gebracht, sondern es muß die Länge derjenigen krummen Linie ermittelt werden, welche die Stromrinne verfolgt.

Da letztere bald an dem einen, bald an dem anderen und zwar in der Regel an dem concaven Ufer liegt, so muß L bedeutend größer sein, als jede zwischen dessen Endpunkteu auf dem Ufer gemessene Linie.

§ 10. Sucht man die Constante auf empyrischem Wege, indem man die Abmessungen eines Flusses wählt, dessen Gefälle und Geschwindigkeit bekannt ist und zwar das Gefälle = 0,5 auf 1200′ die Geschwindigkeit = 3,5; die Breite = 80′, die Wassertiefe = 4′, so ergiebt sich die Constante

$$c\ \frac{b + \tfrac{4}{3}\,h}{b\sqrt{(e\,h)}} = 2{,}64.$$

§ 11. Setzt man den Werth der Constanten, nämlich 2,66, in die im § 6 gefundene Formel, so ist:

$$\text{I, } C = 2{,}66.\ \frac{B\sqrt{(E\,H)}}{B + \tfrac{4}{3}\,H}\ \text{und}$$

$$\text{II, } M = 2{,}66.\ \frac{B\sqrt{(E\,H)}}{B + \tfrac{4}{3}\,H}\ .\ B\,H.$$

Die Resultate beziehen sich stets auf das Verhältniß des Gefälles von E : 1200, müssen also, wenn sie für eine andere Länge ermittelt werden sollen, entsprechend reducirt werden.

§ 12. Vergleicht man die Resultate der Formel I mit denen der Eytelwein='schen resp. du Buatschen Formel

$$c = 90{,}9 \cdot \sqrt{\left(\frac{e}{1200} \cdot \frac{a}{p}\right)},$$

worin $\frac{e}{1200}$ das Gefälle, $a = b\,h$ den Quatratinhalt der Querschnittsfläche des Flusses $p = b + 2\,h$, den benetzten Umfang und zwar die Summe der Breite des Flusses und der doppelten Wassertiefe bezeichnet, so ergeben sich, sowohl für kleine Gerinne, als für Bäche und große Flüsse, wie aus der nachstehenden Tabelle hervorgeht, nahe übereinstimmende Resultate. Es sei z. B $E = e = 64$; $H = h = 0{,}25$; $B = b$, so ist für:

	nach Formel I.	nach Eytelwein.
B = 1;	C = 8;	c = 8,55;
B = 2;	C = 9,14;	c = 9,39;
B = 3;	C = 9,6;	c = 9,73;
B = 4;	C = 9,84;	c = 9,89;
B = 5;	C = 9,99;	c = 9,99;
B = 6;	C = 10,1;	c = 10,09;
B = 7;	C = 10,18;	c = 10,126;
B = 8;	C = 10,24;	c = 10,18;
B = 9;	C = 10,28;	c = 10,22;
B = 10;	C = 10,32;	c = 10,24;
B = 100;	C = 10,6;	c = 10,5;

für $E = e = 0{,}5$; $H = h = 2{,}5$ und

B = 50 ist	C = 2,79;	c = 2,79;
B = 100 „	C = 2,87;	c = 2,86;
B = 150 „	C = 2,90;	c = 2,88;
B = 200 „	C = 2,92;	c = 2,91;
B = 300 „	C = 2,94;	c = 2.91;

Für $E = e = 0{,}5$; $H = h$ 4 und

$B = 180$ ist: $C = 3{,}66$; $c = 3{,}64$;

Für $E = e = 0{,}75$; $h = 4$ und
$B = 180$ ist: $C = 4{,}48$; $c = 4{,}45$;
Für $E = e = 0{,}505$ und $H = h = 32$,
$B = 1600$ ist: $C = 10{,}44$; $c = 10{,}36$.

§ 13. Da das Gesetz, welches für den Ausfluß des Wassers aus einer Oeffnung in der Seitenwand eines Behälters gilt, auch auf alles fließende Wasser Anwendung findet, so kann der Wasserspiegel im Längenprofil eines Flusses nicht eine gerade Linie sein, sondern er muß aus unzähligen Parabeln bestehen, deren Summe sich der geraden Linie um so mehr nähert, je geringer das Gefälle des Flusses ist. Eine durch die Scheitelpunkte dieser Parabeln gedachte Tangente durchschneidet demnach, wenn man sich die Neigung der Flußsohle allmälig verringert denkt, die Parabeln so lange, bis sie eine horizontale Lage erhält, das Gefälle also aufhört. Es bildet daher nur das stillstehende Wasser, vorausgesetzt, daß es nicht vom Winde bewegt wird, eine wirkliche Ebene. Es erklärt sich dies durch die Tropfbarkeit und Cohäsion des Wassers.

Da die parabolischen Abschnitte um so größer sind, je größer das Gefälle eines Flusses ist, so sind dieselben in solchen Flußstrecken, die ein außergewöhnlich starkes Gefälle haben, auffallend sichtbar.

Hieraus erklärt es sich auch, daß die Geschwindigkeit des Wassers an der Oberfläche geringer ist, als in größerer Tiefe, während dieselbe in der Nähe der Sohle in Folge der Adhäsion ebenfalls abnimmt.

Nähert sich die Geschwindigkeit der größten mittleren des fließenden Wassers, die nach § 8 = 10,4 ist, so müssen Wellen entstehen, übersteigt sie dies Maaß, so entstehen Wogen.

§ 14. Nach dem Lehrbuche der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik von **Weisbach**, Theil **I**, Abschnitt 6, Kapitel 7, § 398, 2te Auflage 1850, verhalten sich bei permanenter Bewegung des Wassers eines im Beharrungszustande befindlichen Flusses oder Bachs die mittleren Geschwindigkeiten innerhalb zweier Querprofile umgekehrt wie die Inhalte dieser Profile.

Da nun bekannt ist, daß die Geschwindigkeit des Wassers sich vergrößert, wenn die Breite eines Flusses beschränkt wird, daß aber die mittlere Geschwindigkeit des ruhig fließenden Wassers das Maaß von 10,4′ nicht überschreiten kann, daß also, sobald dies Maaß erreicht ist, eine Hebung des Wasserspiegels und unterhalb ein Wasserfall eintreten muß, so müssen sich bei gleicher Wassertiefe innerhalb zweier Querprofile die mittleren Geschwindigkeiten, wenn dieselben kleiner als 10,4′ sind, wie die Flußbreiten verhalten. Wenn also die Breite eines Flusses auf die Hälfte beschränkt wird, so muß sich die Geschwindigkeit verdoppeln, bei der Beschränkung auf $\frac{1}{3}$, verdreifachen u. s. w., bis die Geschwindigkeit das Maaß von 10,4′ erreicht hat.

Da bei einer Geschwindigkeit des Wassers von mehr als 10′ die Schifffahrt nicht mehr ausgeübt werden kann, so ist für diese von Flußeinschränkungen nur dann ein Vortheil zu erwarten, wenn sich zwischen den Einschränkungswerken die Flußsohle vertieft und die Geschwindigkeit sich in Folge der Profilerweiterung wieder ermäßigt.

§ 15. Bei den bisherigen Erörterungen ist ein Beharrungszustand des fließenden Wassers, also ein unveränderlicher Zufluß vorausgesetzt worden.

Eigenthümliche Erscheinungen treten ein, wenn das Wasser in einem durch Buhnen oder Parallelwerke eingeschränkten Flusse rasch wächst oder fällt. Im ersten Falle erreicht es, so lange die Einschränkungswerke nicht überfluthet sind, eine bedeutend größere Höhe, als in den zwischen den Buhnen oder Parallelwerken und dem Ufer befindlichen abgeschnittenen Theilen, so daß z. B. das Wasser aus dem freien Flusse, wenn es die Krone der Parallelwerke erreicht und zu überfluthen beginnt, nicht selten nach der Landseite hin einige Zoll tief in die weniger hoch gefüllten Bassins herabfällt. Daß diese nicht eben so hoch gefüllt sein können, wie der freie Fluß, ist sehr erklärlich, da der Zufluß von oben und so lange das Wasser im Flusse die Krone nicht erreicht, auch von der Seite abgeschnitten ist. Durch diese Erscheinung kann aber leicht eine Täuschung herbeigeführt werden.

Ist das stets wachsende Wasser so hoch gestiegen, daß es die Werke ganz überfluthet, so hört in den einzelnen Querprofilen die Höhendifferenz des Wasserspiegels, abgesehen von der im Stromstrich vorhandenen Erhöhung, auf, die Buhnen sind kaum wahrnehmbar, es bilden sich aber unterhalb derselben 3 bis 4 Wogen.

Fällt das Wasser im Flusse rasch, so sinkt es in den von den Parallelwerken und dem Ufer eingeschlossenen Bassins langsamer als im Flusse, weil der Abfluß gehemmt ist, aber ein fortwährender Zufluß aus dem mit Wasser durchzogenen Terrain der Ufer stattfindet; es kommt daher vor, daß das Wasser von der Landseite über die Parallelwerke mehr als einen Fuß tief in den freien Fluß herabfällt.

Die erstgedachte Erscheinung bei wachsendem Wasser hat jedenfalls die Veranlassung zu der Voraussetzung gegeben, daß zwischen Einschränkungswerken, auch bei geringerer Geschwindigkeit des Wassers, der Wasserspiegel sich hebe und, da bei Parallelwerken die Erscheinung am Auffallendsten hervortreten muß, so scheint man angenommen zu haben, daß diese besonders geeignet seien, den Wasserspiegel zu heben. Dieser Täuschung verdanken auch wohl die Flügelbuhnen ihre Entstehung.

Beispiele der Anwendnng der Formeln § 11.

§ 16. In einem Flusse, der ein Gefälle von **E** : 1200, eine mittlere Breite **B**, eine mittlere Tiefe **H** hat, soll ein unvollkommenes Wehr von der Höhe **h** angelegt werden; man soll die Höhe **x** bestimmen, um welche sich der ursprüngliche Wasserspiegel über dem Wehr heben wird.

Die Wassermenge $\mathbf{M} = 2{,}66 \frac{\mathbf{B}\sqrt{(\mathbf{E\,H})}}{\mathbf{B} + \frac{4}{3}\,\mathbf{H}} \cdot \mathbf{B\,H}$ ist bekannt.

Dieselbe Wassermenge muß durch den Raum über der Krone des Wehrs, zwischen dieser und dem ursprünglichen Wasserspiegel und wenn sich dieser heben sollte, durch den Raum zwischen dem ursprünglichen Wasserspiegel und dem höchsten Punkt, bis zu welchem er sich erhebt, abfließen. Die Höhe des letztgedachten Raumes sei $= \mathbf{x}$, während die des Raumes zwischen dem Wehr und dem ursprünglichen Wasserspiegel $= \mathbf{H} - \mathbf{h}$ ist. Durch diesen Raum

muß das Wasser, wenn eine Hebung des Wasserspiegels eintreten soll, mit der größten denkbaren Geschwindigkeit ruhig fließenden Wassers, also mit der von 10,4′ fließen. Die durch denselben abfließende Wassermenge ist also $= 10{,}4.\ B\ (H - h)$.

Ist dieselbe gleich, oder größer als die Wassermenge, welche der Fluß führt, so tritt eine Hebung des Wasserspiegels nicht ein; ist sie dagegen kleiner, so fließt ein Theil der Wassermenge durch den Raum von der Höhe x über dem ursprünglichen Wasserspiegel ab. Diese ist nach § 2 $= \frac{2}{3}\ \alpha\ B\ x \sqrt{\ x} = 5{,}266\ B. \sqrt{\ x^3}$. Man hat also die Gleichung:

$$10{,}4.\ B\ (H - h) + 5{,}266.\ B \sqrt{\ x^3} = M$$

und wenn man die Reibung an den Ufern in Betracht zieht:

$$10{,}4.\ \frac{B^2\ (H - h)}{B + \frac{4}{3}\ (H - h)} + \frac{5{,}266.\ B^2 \sqrt{\ x^3}}{B + \frac{4}{3}\ x} = M$$

$$\text{und da } M = 2{,}66\ \frac{B \sqrt{(E\ H)}}{B + \frac{4}{3}\ H}\ B\ H,$$

$$\frac{10{,}4.\ (H - h)}{B + \frac{4}{3}\ (H - h)} + \frac{5{,}266 \sqrt{\ x^3}}{B + \frac{4}{3}\ x} = 2{,}66\ \frac{\sqrt{\ (E\ H^3)}}{B + \frac{4}{3}\ H},\ \text{also}$$

$$1.\quad \frac{5{,}266 \sqrt{\ x^3}}{B + \frac{4}{3}\ x} = \frac{2{,}66 \sqrt{(E\ H^3)}}{B + \frac{4}{3}\ H} - \frac{10{,}4\ (H - h)}{B + \frac{4}{3}\ (H - h)};$$

Läßt man vorläufig die Reibung an den Ufern außer Betracht, so ist:

$$2.\quad 5{,}266 \sqrt{\ x^3} = 2{,}66 \sqrt{\ (E\ H^3)} - 10{,}4\ (H - h);$$

$$\sqrt{\ x^3} = 0{,}503 \sqrt{\ (E\ H^3)} - 1{,}975,\ (H - h);$$

$$x = {}^3\ [0{,}503 \sqrt{\ (E\ H^3)} - 1{,}975\ (H - h)]^2.$$

Setzt man diesen Werth in den Nenner der Gleichung 1, so läßt sich der Werth von x genau genug berechnen. Ergiebt sich x kleiner als 3,9′, so muß die mittlere Geschwindigkeit des Wassers über dem Wehr weniger als 10,4′ betragen.

Setzt man in der zweiten Gleichung $x = 0$ und entwickelt aus derselben h, so erhält man die größte Höhe, welche das Wehr erhalten kann, wenn sich der ursprüngliche Wasserspiegel nicht heben soll. Es ist nämlich:

$$2{,}66 \sqrt{\ (E\ H^3)} - 10{,}4\ (H - h) = 0,\ \text{also}$$

$$2{,}66 \sqrt{\ (E\ H^3)} = 10{,}4\ (H - h);$$

$$0{,}2548 \sqrt{(E\,H^3)} = H - h; \text{ also}$$

$$h = H - 0{,}2548 \sqrt{(E\,H^3)}.$$

Für $E = 3{,}9$; $H = 3{,}9$, ist $h = 3{,}9 - 0{,}2548 \sqrt{3{,}9^4}$,

$$h = 3{,}9 - 3{,}9, \text{ also } = 0.$$

Der Wasserspiegel muß sich bei diesen Abmessungen heben, sobald auch nur ein ganz niedriges Wehr angelegt wird, was sehr erklärlich ist, da das Wasser bei dieser Tiefe und diesem Gefälle schon die größte mittlere Geschwindigkeit hat.

Hieraus erklärt es sich auch, daß man seichte Stellen in einem Flusse aus der unruhigen Bewegung des Wassers auf der Oberfläche erkennen kann, indem jede Erhöhung auf der Flußsohle eine Hebung des Wasserspiegels veranlaßt. Dagegen hebt sich in einem Flusse oder einer Flußstrecke mit geringem Gefälle der Wasserspiegel nur über einem Wehr oder einer Grundschwelle von erheblicher Höhe. Hat z. B. ein Fluß von 80′ Breite und 4′ Tiefe das sehr geringe Gefälle von 0,1′ auf 100°, so ist:

$$h = 4 - 0{,}2548 \sqrt{(0{,}1 \,.\, 64)}$$

$$= 4 - 0{,}2548 \sqrt{6{,}4} = 4 - 0{,}2548.\ 2{,}53;$$

$$\text{also ist } h = 4 - 0{,}6446 = 3{,}355'.$$

Durch den Raum von 0,6446′ Höhe, zwischen der Wehrkrone und dem unverändert bleibenden Wasserspiegel, würden bei 10,4′ Geschwindigkeit des Wassers abfließen:

$$0{,}6446.\ 10{,}4.\ 80 = 536 \text{ Cub.}'$$

Der Fluß führt aber nur:

$$\frac{2{,}66.\ 80.\ 0{,}63.\ 320}{85{,}33} = 503 \text{ Cub.}'$$

Bei der ermittelten Höhe des Wehrs fließt daher zwischen der Krone desselben und dem unveränderten ursprünglichen Wasserspiegel das Wasser nicht mit der mittleren Geschwindigkeit von 10,4′, sondern mit der von $\frac{503}{80.\ 0{,}6446} = 9{,}75 = 9\tfrac{3}{4}'$.

Handelt es sich um ein vollkommenes bis zum ursprünglichen Wasserspiegel reichendes Wehr, so ist $H = h$ und $H - h = 0$.

Setzt man in der Gleichung 1, $H - h = 0$, so erhält man

$$a, \quad \frac{5{,}266 \sqrt{x^3}}{B + \frac{4}{3}\,x} = \frac{2{,}66 \sqrt{(E\,H^3)}}{B + \frac{4}{3}\,H};$$

wird die Reibung an den Ufern vorläufig außer Betracht gelassen, so ist $\sqrt{x^3} = 0{,}503 \sqrt{(E\, H^3)}$ und

$$x = \sqrt[3]{(0{,}253\; E.\; H^3.)}$$

Wird dieser Werth in den Nenner der Gleichung a gesetzt, so ist:

$$\frac{5{,}266 \sqrt{x^3}}{B + \sqrt[3]{(0{,}253\, E\, H^3)}} = \frac{2{,}66 \sqrt{(E\, H^3)}}{B + \frac{4}{3}\, H.}$$

$$x = \sqrt[3]{\left[\frac{0{,}503 \sqrt{(E\, H^3)}.\,(B + \sqrt[3]{(0{,}253\, E\, H^3)})}{B + \frac{4}{3}\, H}\right]^2}$$

diejenige Höhe, um welche sich der Wasserspiegel über dem vollkommenen Wehr von der Höhe H erhebt, wenn die Wassertiefe ebenfalls = H ist.

§ 17. Erhebt sich ein Wehr um h′ über dem ursprünglichen Wasserspiegel eines Flusses, bezeichnet b diejenige Länge, um welche die Länge des Wehrs die mittlere Breite des Flusses überschreitet, und x die Höhe des Wasserstandes über dem Wehr, so ist:

$$\frac{\frac{2}{3}\, \alpha\, (B + b) \sqrt{x}}{B + b + \frac{4}{3}\, x} \,.\, (B + b)\, x = 2{,}66\, \frac{B \sqrt{(E\, H)}}{B + \frac{4}{3}\, H} \,.\, B\, H$$

oder, wenn die Reibung am Ufer vorläufig außer Rechnung bleibt:

$$5{,}266 \;.\;.\;. \sqrt{x}.\, (B + b)\, x = 2{,}66.\, \sqrt{(E\, H)}.\; B\, H;$$

$$\sqrt{x^3} = 0{,}503.\, \frac{\sqrt{(E\, H)}.\; B\, H}{B + b};$$

$$x = \sqrt[3]{\left(0{,}503.\, \frac{\sqrt{(E\, H)}.\; B\, H}{B + b}\right)^2}.$$

Setzt man diesen für x gefundenen Werth in den Nenner der ersten Gleichung und entwickelt x abermals, so ergiebt sich der genauere Werth.

§ 18. Um zu ermitteln wie weit sich der Rückstau erstreckt, welchen ein über den ursprünglichen Wasserspiegel eines Flusses sich erhebendes Wehr veranlaßt, denke man sich durch den Scheitelpunkt der Parabel, welche das über dem Wehr abfließende Wasser bildet, eine Horizontale gezogen und nach oben so weit verlängert, bis sie den ursprünglichen Wasserspiegel schneidet.

Damit über dem Wehr stets dieselbe Wassermenge abfließt und der Wasserstand über dem Wehr unverändert bleibt, muß ununterbrochen von oben eine gleiche Wassermenge zufließen. Denkt

man sich nun in dem Punkte, in welchem die Horizontale den ursprünglichen Wasserspiegel schneidet ein zweites Wehr von ganz gleicher Höhe, so wird über demselben genau eben so viel Wasser abfließen, als über dem ersten und der Wasserstand auf dem zweiten Wehr erreicht dieselbe Höhe, wie auf dem ersten. Zieht man wieder durch den Scheitel der oberen Parabel eine Horizontale bis zu dem Punkte, in dem sie den ursprünglichen Wasserspiegel schneidet, so ist dies der Grenzpunkt des hydraulischen Rückstaues des ersten Wehrs.

Wenn man also in dem Punkte, in welchem sich das erstgedachte Wehr befindet, auf dem ursprünglichen Wasserspiegel eine Lothrechte errichtet, auf derselben die Höhe h des über dem ursprünglichen Wasserspiegel hinausreichenden Theils des Wehrs und die Höhe x des Wasserstandes über letzterem aufträgt, diese Summe h + x verdoppelt und durch den höchsten Punkt der Lothrechten eine Horizontale zieht, die den ursprünglichen Wasserspiegel schneidet, so ist der Durchschnittspunkt die Gränze des hydraulischen Rückstaues. In diesem Punkte hört also der Einfluß des Rückstaues auf.

Die Länge des hydraulischen Rückstaues R ergiebt sich aus der Proportion.

$$R : 2\,(h + x) = 1200 : E,$$

$$R = \frac{2\,(h + x)\,1200}{E}.$$

Um zu ermitteln, wie hoch sich der Wasserspiegel, von der Grenze des hydraulischen Rückstaues ab, bis zum Wehr, über dem ursprünglichen Wasserspiegel hebt, hat man zunächst die Zunahme der Geschwindigkeit des Wassers, von diesem Grenzpunkte ab, bis zum Wehr, in Betracht zu ziehen. Ueber dem Wehr muß diese nämlich bedeutend größer sein, als an dem gedachten Grenzpunkt, in welchem die mittlere Geschwindigkeit des Wassers unverändert bleibt.

Denkt man sich ein Dreieck, dessen eine Seite die Länge des hydraulischen Rückstaues, dessen andere der ursprüngliche Wasserspiegel von dieser Grenze bis zum Wehr und dessen dritte Seite gleich der Differenz der Geschwindigkeiten über dem Wehr und der ursprünglichen Geschwindigkeit des Wassers im Flusse ist, theilt die erstgedachte Seite in eine Anzahl, etwa in 20 gleiche Theile und zieht

durch die Theilpunkte Parallelen mit der dritten Seite bis sie den ursprünglichen Wasserspiegel schneiden, so giebt die Länge dieser Parallelen den Zuwachs an, den die Geschwindigkeit des Wassers vom Grenzpunkte des Rückstaues bis zum Wehr erhält. Man kann diesen Zuwachs also für jeden einzelnen Punkt berechnen und zwar am Einfachsten, indem man die bekannte Länge der dritten Seite des Dreiecks durch 20 theilt, den Quotienten zum ersten Gliede einer Reihe macht, deren Differenz diesem ersten Gliede gleich ist.

Um die zu den gefundenen Geschwindigkeiten gehörenden Höhen über dem ursprünglichen Wasserspiegel zu finden, addirt man zu der Höhe **h**, um welche das Wehr über letzteren hervorragt, den Wasserstand auf dem Wehr, erhält also $h + x$. Es verhält sich dann der bekannte Zuwachs an Geschwindigkeit des Wassers über dem Wehr : $\sqrt{(h + x)}$ wie der nächst vorhergehende Zuwachs zur Quadratwurzel aus der zugehörigen Höhe.

Um dies durch ein Zahlenbeispiel zu erläutern, sei $H = 4$; $h = 2'$; das Gefälle 0,5 : 1200; die mittlere Geschwindigkeit des Wassers im Flusse = 3,5; Der Wasserstand auf dem Wehr $= x$; die Länge des Wehrs gleich der Breite des Flußes, also $B + b = B = 80$, die so groß ist, daß die Reibung an den Ufern außer Betracht gelassen werden kann; so ist nach § 17

$$x = {}^3[0{,}503 \sqrt{(E\ H)}.\ H]^2$$

$$x = {}^3[0{,}503.\ \sqrt{(0{,}5.\ 4.)}\ 4]^2$$

$$x = \text{rot}:\ 2'$$

$$R = \frac{2.\ (h + x)\ 1200}{E}$$

$$R = \frac{8.\ 1200}{0{,}5} = 19200;$$

$$\frac{R}{20} = 960.$$

Die Geschwindigkeit des Wassers über dem Wehr ist, da **x** nur halb so groß ist als **H**, $= 2.\ 3{,}5 = 7$, der Zuwachs an Geschwindigkeit über dem Wehr $= 3{,}5$;

$\frac{3{,}5}{20} = 0{,}175$; also ist 0,175 das erste Glied der Reihe, deren

Differenz = 0,175 ist. Das zwanzigste Glied der Reihe ist 3,5, die zugehörige Höhe also = $\sqrt{4}$. Wenn nun das neunzehnte Glied der Reihe = 3,325 gefunden ist, so ergiebt sich die zugehörige Höhe aus der Proportion

$3{,}5 : \sqrt{4} = 3{,}325 : \sqrt{y}$, also y = 3,61 u. s. w.

Die nachstehende Tabelle weist den Zuwachs an Geschwindigkeit in den einzelnen Punkten und die zugehörigen Höhen über dem Wasserspiegel nach:

Zuwachs zu c	; Zugehörige Höhe
1. — 0,175 —	— 0,01
2. — 0,35 —	— 0,04
3. — 0,525 —	— 0,09
4. — 0,7 —	— 0,16
5. — 0,875 —	— 0,25
6. — 1,05 —	— 0,36
7. — 1,225 —	— 0,49
8. — 1,4 —	— 0,64
9. — 1,575 —	— 0,81
10. — 1,75 —	— 1,0
11. — 1,925 —	— 1,21
12. — 2,1 —	— 1,44
13. — 2,275 —	— 1,69
14. — 2,45 —	— 1,96
15. — 2,625 —	— 2,25
16. — 2,8 —	— 2,56
17. — 2,975 —	— 2,89
18. — 3,15 —	— 3,24
19. — 3,325 —	— 3,61
20. — 3,5 —	— 4.

Die Hebung des Wasserspiegels in dem Punkte 1 beträgt nur 0,01′ oder 0,12″, ist also so gering, daß deren Einfluß in praktischen Fällen nicht in Betracht kommen kann, man nimmt daher gewöhnlich an, daß der wahrnehmbare hydraulische Rückstau vom Wehr aufwärts nur 1,9 mal so weit reiche, als die hydrostatische Rückstaulinie lang ist.

§ 19. Eytelwein erachtete einen Fluß für schiffbar, wenn er bei niedrigem Wasserstande auch in den seichtesten Stellen eine für 4′ tief gehende Schiffe ausreichende Wassertiefe hat. Es würde also in einem größeren Flusse, in welchem eine mindestens für zwei Schiffe ausreichende Breite des Fahrwassers erforderlich ist, eine mittlere Tiefe von 3,9′ genügen. Für diese Tiefe ist, nach der Formel I, § 11, wenn man in dieselbe den im § 10 ermittelten Werth der Constanten setzt und die Reibung an den Seitenwänden außer Betracht läßt:

$$c = 2{,}66 \ldots \sqrt{(E\ H)} \text{ oder}$$

$$c = 5.27 \sqrt{E}.$$

Da nun 5,27 $= \frac{2}{3}\,\alpha$ ist, so ist bei dieser Wassertiefe:

$$c = \tfrac{2}{3}\,\alpha \sqrt{E}.$$

Man kann daher, in allen Fällen, wo Reibung an den Seitenwänden nicht in Betracht kommt, zur Ermittelung der in Folge von Störungen des regelmäßigen Wasserlaufs entstehenden neuen Geschwindigkeiten, wenn es sich um einen 3,9′ bis zu 4′ tiefen Fluß handelt, die vorstehende Formel anwenden, während im Allgemeinen die Formel:

$$c = 2{,}66 \sqrt{(E\ H,)}$$

in solchen Fällen anzuwenden ist.

Es wird gewöhnlich angenommen, daß in einem Flusse mit zahlreichen Serpentinen die Geschwindigkeit des Wassers durch das Anstoßen des Wassers an das concave Ufer verringert werde.

Abgesehen davon, daß die Stromrinne in Serpentinen länger, als in geraden Flußstrecken ist, dürfte jedoch bei gleichem Gefälle eine geringere mittlere Geschwindigkeit in denselben nicht eintreten. Die Wassermenge, welche der Fluß in einer Secunde führt, ist beim Beharrungszustande und wenn besondere Zuflüsse nicht hinzutreten, in allen Profilen gleich, die mittlere Geschwindigkeit ist also lediglich von der Größe des Flächeninhalts der einzelnen Profile abhängig.

Nach der Tiefe gemessen, sind die Differenzen der Geschwindigkeit unbedeutend, nach der Breite gemessen, sind sie um so erheblicher, je breiter das Flußprofil und je verschiedener die Wassertiefen in demselben sind. Da durch ein solches Profil die-

selbe Wassermenge fließen muß, wie durch jedes andere, so wird, wenn in einzelnen Punkten geringe oder keine Bewegung vorhanden ist, diese an anderen Punkten um so größer sein.

In Serpentinen befindet sich die größte Geschwindigkeit stets am concaven Ufer, vorausgesetzt, daß dasselbe und die Flußsohle an demselben nicht aus Felsen besteht. In Folge der größeren Geschwindigkeit vertieft sich das Flußbett und es entstehen Ufereinbrüche.

Die mittlere Geschwindigkeit muß aber in jedem in der Serpentine genommenen Profil genau ebenso groß sein, als in einem gleich großen in einer geraden Flußstrecke, vorausgesetzt, daß das Gefälle gleich ist, dagegen ist die Vertheilung der Geschwindigkeiten in solchen Profilen sehr verschieden. Wenn sich in der Serpentine ein Theil der Geschwindigkeit an dem concaven Ufer bricht, so muß, da an demselben sich dennoch die größte Geschwindigkeit findet, dieser Verlust in irgend einer anderen Weise ersetzt werden. Der Ersatz wird dadurch gewährt, daß der Wasserspiegel, in Folge des Anprallens des Wassers an das concave Ufer, sich hebt, daß daher ein Gefälle vom Ufer nach der Mitte des Flusses eintritt. Dies Gefälle ist, selbst wenn die Hebung des Wasserspiegels nicht erheblich ist, in scharfen Krümmungen relativ bedeutend größer als das Längegefälle des Flusses, denn Sinkstoffe, die derselbe führt, werden nicht vom Strome abwärts getrieben, sondern lagern sich stets an dem der Concave gegenüberliegenden convexen Ufer ab.

Zur Ermittelung der in Folge der Hebung des Wasserspiegels am concaven Ufer entstehenden Geschwindigkeit kann die im § 11 entwickelte Formel ebenfalls dienen.

Die Differenz zwischen dem gehobenen Wasserspiegel am concaven Ufer und dem im Radius der Uferkrümmung liegenden niedrigsten Punkt des Wasserspiegels kann man durch Nivellement finden; dieselbe sei $= e'$; die Entfernung des niedrigsten Punkts sei $= l$. Das Gefälle ist also $= e' : l$. Das der Länge von 1200′ entsprechende relative Gefälle sei $Z : 1200$, so ergiebt sich aus der Proportion

$$e' : l = Z : 1200,$$

$$Z = \frac{e' \cdot 1200}{l}$$

Die entstehende Geschwindigkeit v, ist also $= 2{,}66 \sqrt{(Z\,H)}$ und wenn die Wassertiefe etwa 4′ beträgt, $v = 5.27 \sqrt{Z}$. Ebenso wie die, in Folge des Anprallens des Wassers an ein concaves Ufer, verlorene Geschwindigkeit sich ersetzt, ist dies auch der Fall, wenn das Wasser andere Hindernisse, Brückenpfeiler, Felsrippen 2c. im Flußbette findet, der Wasserspiegel hebt sich oberhalb und zur Seite und nach hydrostatischen Gesetzen entsteht eine vergrößerte Geschwindigkeit, welche den durch den Stoß an dem Hinderniß veranlaßten Geschwindigkeitsverlust wieder ersetzt.

Am auffallendsten ist dies an Buhnenköpfen wahrnehmbar, vor denen sich daher stets eine große Geschwindigkeit findet.

Diese wenigen Beispiele dürften genügen, um nachzuweisen, daß die Formeln geeignet sind auch die Erfolge von Flußregulirungen voraus zu berechnen.

§ 20. Schließlich dürfte noch zu erwähnen sein, daß bei Aufstellung von Flußregulirungs-Projecten auch der Einfluß der Verdunstung des Wassers in Betracht zu ziehen ist. Dieser ist bei anhaltender Dürre, also bei niedrigem Wasserstande sehr erheblich.

Es ist deshalb jedenfalls bedenklich Stromschnellen zu vertiefen, weil, in Folge der Vertiefung, der Wasserspiegel in den oberhalb liegenden Haltungen, die als Sammelbassins dienen, sinken wird. Das Wasserquantum in denselben wird daher verringert und zwar verhältnißmäßig in bedeutend größerem Maaße, als die der Verdunstung besonders ausgesetzte Oberfläche. Nicht selten mögen auf richtigen Theorieen nicht basirte Regulirungen Veranlassung zur Seichtigkeit der Flüsse geben.

Die Aufstellung einer Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und eine auf mathematische Berechnung gegründete Behandlung der Projecte zu Flußregulirungen dürfte deshalb dringendes Bedürfniß sein. Den Weg zur Befriedigung desselben anzubahnen, ist der Zweck der vorstehenden Zeilen.

Inhalt.

§ 1. Bekannte Sätze der Hydraulik.

§ 2. Entwickelung der bekannten Formeln zur Berechnung der Menge des ausfließenden Wassers und der mittleren Geschwindigkeit desselben.

§ 3. Neigung des Wasserspiegels.

§ 4. Mittlere Geschwindigkeit des fließenden Wassers für einen speciellen Fall.

§ 5. Einfluß der Reibung auf der Sohle und an den Seitenwänden. In Rechnung zu bringendes Maß des benetzten Umfanges.

§ 6. Allgemeine Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers, vorbehaltlich der Ermittelung des Werths der Constanten.

§ 7. Größte Geschwindigkeit des fließenden Wassers und zugehörige Fallhöhe.

§ 8. Größte mittlere Geschwindigkeit des fließenden Wassers = 10,4'

§ 9. Ermittelung der Constanten in der Formel § 6.

§ 10. Ermittelung der Constanten auf empyrischem Wege.

§ 11. Allgemein gültige Formeln zur Berechnug der Geschwindigkeit des fließenden Wassers und der Wassermenge, welche Flüsse, Bäche und Gerinne pro Secunde führen.

§ 12. Vergleichung der Resultate, welche die entwickelten Formeln geben, mit denen der **du Buat**'schen resp. Eytelwein'schen Versuchsformeln.

§ 13. Form der Linie, welche das Längenprofil des fließenden Wassers bildet.

§ 14. Einfluß der Beschränkung der Flußbreite.

§ 15. Erscheinungen bei wachsendem und fallendem Wasser.

Beispiele der Anwendung der Formeln § 11.

§ 16. Berechnung des Maaßes, um welches sich der Wasserspiegel über einem unvollkommenen Wehr oder einer Grundschwelle hebt; desgl. über einem vollkommenen Wehr, wenn es den ursprünglichen Wasserspiegel nur erreicht.

§ 17. Desgl. wenn das Wehr sich über dem ursprünglichen Wasserspiegel erhebt.

§ 18. Ermittelung der Ausdehnung des hydraulischen Rückstaues.

§ 19. Fahrwassertiefe eines schiffbaren Flusses. Formel zur Berechnung der Geschwindigkeit des Wassers für die Wassertiefe von 3,9' desgl. für jede Wassertiefe, wenn die Seitenreibung unberücksichtigt bleibt.

Einfluß der Serpentinen auf die mittlere Geschwindigkeit des Wassers.

Einfluß der dem fließenden Wasser entgegenstehenden Hindernisse.

§ 20. Einfluß der Verdunstung.

Das Gesetz der Bewegung

des

fließenden Wassers,

mathematisch begründet

von

Junker.

(Fortsetzung.)

Coblenz, 1867.
Handlung, Buchdruckerei u. Buchbinderei des evangel. Stifts zu St. Martin.
(J. F. Kehr.)

Berichtigung.

Im ersten Hefte ist auf Seite 14 in der 8. Zeile von oben, zwischen den Wörtern „sind" und „wie", das Wort „umgekehrt" einzuschalten.

§ 21. Im § 5 des ersten Heftchens ist erwähnt worden, daß der Widerstand, den die Luft dem fließenden Wasser entgegensetzt, bei der Herleitung der Formel in § 6 als unbedeutend außer Betracht gelassen worden sei.

Die Constante: $c \frac{b + \frac{4}{3} h}{b \sqrt{(e\, h)}}$, der

Formel $C = c. \frac{b + \frac{4}{3} h}{b \sqrt{(e\, h)}} \cdot \frac{B \sqrt{(E\, H)}}{B + \frac{4}{3} H}$

muß daher einen etwas geringeren Werth haben, als derselbe im § 9 berechnet ist.

Um diesen Werth, mit Berücksichtigung des Widerstandes, den die Luft darbietet, abgesehen von den zufälligen Einflüssen des Windes, genauer zu ermitteln, ist derselbe in anderer Weise zu berechnen. Zuvor sind folgende Betrachtungen über die Eigenthümlichkeit der Bewegung des Wassers in kleinen Quantitäten anzustellen:

Ein auf einer waagerechten Ebene befindlicher Tropfen breitet sich so lange nach allen Seiten hin aus, bis das Wasser eine bestimmte Tiefe erlangt hat, nimmt im Grundriß eine nahe kreisrunde Form an und bildet auf der Oberfläche eine horizontale Ebene, während jeder Querschnitt, rücksichtlich der Tiefe des Wassers resp. der Höhe des Tropfens, durch eine Curve begrenzt wird. Diese Curve ist, so lange das Wasser fließt, eine Parabel. Wegen der Adhäsion des Wassers an der waagerechten Ebene ist die Grundfläche des Tropfens bedeutend größer als dessen Höhe.

Giebt man während der Tropfen sich in Ruhe befindet der Ebene eine Neigung, so bildet sich auf der Oberfläche des ersteren wieder eine waagerechte Ebene, die Wassertiefe vermindert sich oberhalb und vermehrt sich unterhalb, der Tropfen erhält also unterhalb eine größere Höhe und da diese ein bestimmtes Maaß nicht überschreiten kann, setzt er sich in Bewegung.

Da die Grundfläche des Tropfens größer ist, als seine Höhe, so ist zweifellos die Adhäsion an der Ebene im Vergleich zur Cohäsion des Wassers, wenn man beide Eigenschaften als Kräfte betrachtet, die überwiegende Kraft, und zwar in dem Maaße überwiegend, daß ein Wassertropfen von geringer Größe selbst an einer

lothrecht stehenden polirten Ebene, z. B. an einer Fensterscheibe hängen bleibt, in einem Haarröhrchen sogar aufsteigt.

Wenn sich der Tropfen bewegt, giebt er daher in Folge des Uebergewichts der Adhäsion einen Theil seines Volumens an die geneigte Ebene ab, letzteres verringert sich deshalb in dem Maaße, daß der Widerstand, den die Reibung darbietet, der in dem Wassertropfen vorhandenen Neigung sich fort zu bewegen, das Gleichgewicht hält. Da der Tropfen wegen der Adhäsion an feste Körper auf der geneigten Ebene eine benetzte Bahn zurückgelassen hat, so wird ein auf diese gebrachtes weit kleineres Tröpfchen, dessen Bewegung nicht mehr von der Adhäsion, sondern nur von der Cohäsion mit dem benetzenden Wasser abhängig ist, sich sofort in Bewegung setzen, den ersten Tropfen bald erreichen und das Volumen desselben so vergrößern, daß er sich abermals in Bewegung setzt.

Diese unterbrochene und ungleichförmige Bewegung des Tropfens ist verschieden von der Bewegung des permanent fließenden Wassers.

Aus dem Gesagten, wie auch aus den Lehren der Hydrostatik, ergiebt sich, daß dem Wasser die entschiedene Neigung beiwohnt, an seiner Oberfläche eine horizontale Ebene zu bilden und daß diese Neigung lediglich die Veranlassung giebt, daß dasselbe auf einer wenig geneigten Ebene, auf welcher ein fester Körper noch nicht zu gleiten beginnt, wenn die Quantität des Wassers bedeutend genug ist, mit großer Geschwindigkeit abfließt.

Die Bewegung des fließenden Wassers muß also durchaus verschieden sein von der eines festen Körpers. Während letzterer fortgleitet, bewegt sich das Wasser, wegen der Verschiebbarkeit derselben, in allen seinen Theilen. Die Geschwindigkeit des Wassers in Canälen, Flüssen 2c. ist deshalb, nach Maßgabe der Widerstände, welche die Adhäsion an der Flußsohle und an den Seitenwänden, wie auch die Luft derselben entgegensetzen, in jedem einzelnen Theile, sowohl nach der Tiefe, als nach der Breite des fließenden Gewässers, verschieden.

§ 22. Ein fester Körper der ungefähr das specifische Gewicht des Wassers und unten eine gehobelte Fläche hat, beginnt sich auf einer gehobelten Ebene zu bewegen, wenn die Länge derselben

sich zur Höhe, d. h. zur Erhebung über der Horizontalen, wie 7 : 2 verhält. Dagegen beginnt Wasser sich auf derselben Ebene in Bewegung zu setzen, wenn dieselbe eine Neigung von 28 : 2 oder 14 : 1 angenommen hat. Bringt man Wasser vorsichtig auf eine waagerechte Ebene, so breitet es sich allmälig aus, fließt so lange nach allen Seiten hin auseinander, bis es eine bestimmte Tiefe erlangt hat und bleibt dann, auch wenn eine Begrenzung durch feste Wände nicht vorhanden ist, unverändert stehen. Ein in der Mitte der mit Wasser bedeckten Fläche hinzugegossener Tropfen bringt die ganze Masse in Bewegung. Verbreitet man mit Vorsicht einen Cubiczoll Wasser auf der waagerechten Ebene, so daß letzteres eine meßbare Fläche bedeckt, so läßt sich die Tiefe desselben leicht berechnen. Gewöhnliches Brunnenwasser breitet sich auf der waagerechten, nicht begrenzten Ebene, bei etwa 15 Grad Wärme, so lange aus, bis die Tiefe desselben nur noch eine halbe Linie oder $\frac{1}{288} = 0{,}00347$ Fuß beträgt. Stillstehendes Wasser, welches eine Tiefe von nur einer halben Linie hat, bedarf daher einer Begränzung durch feste Wände nicht.

Es beginnt wieder zu fließen, wenn der Ebene eine Neigung von 1 : 14 gegeben wird. Reducirt man dies Gefälle auf x : 1200, so ergiebt sich aus der Proportion:

$$1 : 14 = x : 1200$$
$$x = 85{,}7143.$$

Die mittlere Geschwindigkeit des fließenden Wassers, wenn es durch Zufluß stets in gleicher Tiefe erhalten wird, ergiebt sich nun aus der Formel:

$$c = \tfrac{2}{3}\,\alpha \sqrt{}\, h, \text{ und zwar ist}$$
$$h = 0{,}00347 + \tfrac{1}{14} \text{ oder } =$$
$$0{,}00347 + 0{,}07143 = 0{,}0749 \text{ also}$$
$$c = 5{,}266 \,.\, \sqrt{0{,}0749} = 5{,}266 \,.\, 0{,}274$$
$$c = 1{,}4422884 \text{ Fuß}.$$

Da die Wassertiefe, auch wenn die Breite b unendlich groß ist, unverändert bleibt, so kann man in der § 9 gefundenen Constanten, $c\,\frac{b + \frac{4}{3}\,h}{b \sqrt{(c\ h)}}$, b unendlich groß setzen, erhält also als

Constante $\frac{c}{\sqrt{(e\ h)}}$, und wenn in diese die gefundenen Zahlenwerthe gesetzt werden:

$$\frac{c}{\sqrt{(e\ h)}} = \frac{1{,}442884}{\sqrt{(85{,}7143\ .\ 0{,}00347)}}$$

$$= \frac{1{,}442884}{0{,}5453} = 2{,}646.$$

§ 23. Statt der im § 11 gefundenen, ergeben sich also die Formeln:

$$\text{I, } C = 2{,}646\ .\ \frac{B\sqrt{(E\ H)}}{B + \frac{4}{3}H}$$

$$\text{II, } M = 2{,}646\ \frac{B\sqrt{(E\ H)}}{B + \frac{4}{3}H}\ .\ B\ H.$$

Die Constante differirt gegen die früher gefundene um 0,02, weil bei Berechnung der letzteren der Widerstand, welchen die Luft darbietet, nicht berücksichtigt worden ist. Die jetzt gefundene Constante ist daher genauer als die frühere.

Nach einem Zusatze zu § 130 des Handbuchs der Mechanik fester Körper und der Hydraulik von Eytelwein, zweite Auflage, 1823, wurde die Wassermenge, die ein Canal von 4 Fuß Breite, mit einer Wassertiefe von 5½ Zoll und einem Gefälle des Wasserspiegels von ⅔ Zoll auf 100 Fuß pro Secunde führt, auf verschiedene Weise gemessen, zu 2,327 Cubikfuß ermittelt.

Berechnet man diese Wassermenge nach der obigen Formel, so ist

$$M = 2{,}646.\ \frac{4\sqrt{(0{,}45833\ .\ 0{,}6666)}}{4{,}61111}\ .\ 4\ .\ 0{,}45833$$

$$= 2{,}646\ \frac{4{,}0553149}{4{,}61111} = 2{,}646\ .\ 0{,}8795;$$

also $M = 2{,}327157$ Cubikfuß.

Die Formel giebt mithin genau dasselbe Resultat, welches Eytelwein bei wirklicher Messung der Wassermenge gefunden hat.

§ 24. Die Verschiebbarkeit der Theile des Wassers, welche demselben die Eigenschaft giebt, daß es stets eine horizontale Ebene zu bilden sucht, ist Veranlassung der größeren Beweglichkeit dessel-

ben. In ein Gefäß eingeschlossen, bewegt es sich auf einer geneigten Ebene erst dann, wenn die Neigung derselben so groß ist, daß auch ein fester Körper sich auf derselben in Bewegung setzt. Ist dieser ein Parallelepipedum, so bleibt die obere Fläche desselben parallel mit der schiefen Ebene, die Oberfläche des Wassers dagegen bildet, auch während der Bewegung, in einem parallelepipedischen Gefäß eine waagerechte Ebene. Diese Eigenschaft des Wassers wird ohne Zweifel, auch wenn es zwischen festen Seitenwänden frei fließt, zur Geltung kommen. Auch dieser Umstand giebt den Beweis, daß die Oberfläche des fließenden Wassers in dem Längenprofile eines Canals im Allgemeinen zwar parallel mit der Grundebene sein wird, aber, wie schon im § 13 erwähnt ist und wie aus § 21 hervorgeht, eine gerade Linie nicht bilden kann. Auf diese Frage würde ich nicht wiederholt zurückgekommen sein, wenn nicht die Behauptung aufgestellt worden wäre:

„Es sei kein Grund denkbar der die Annahme, daß die gedachte Linie eine gerade nicht sei, rechtfertige, wenn das Wasser auf einer vollständig ebenen Fläche fließe."

Wenn diese Aeußerung richtig wäre, so würde auch die Annahme, daß die Geschwindigkeiten des Wassers in verschiedenen Tiefen gemessen, nicht übereinstimmen, jeden Grundes entbehren.

§ 25. Zu der im § 21 gegebenen anderen Entwickelung der Formeln des § 11, zur Berechnung der mittleren Geschwindigkeit des Wassers in Flüssen und der Wassermenge, hat der vergebliche Versuch die Ansicht zu widerlegen, daß die größte Geschwindigkeit des fließenden Wassers größer sein könne, als die mittlere, welche ein freifallender Körper während der ersten Secunde erlangt, Veranlassung gegeben.

Es wurde dagegen eingewandt, daß das Wasser, bevor es in den Fluß gelangt, von einer solchen Höhe herabgefallen sein könne, daß es eine sehr große Geschwindigkeit und zwar die eines mehrere Secunden frei fallenden Körpers, erlangt habe und mit dieser in dem Flußbette, auch bei allmälig abnehmendem Gefälle, weiter fließen werde.

Durch einen mathematischen Beweis möchte diese Ansicht nicht widerlegt werden können, dagegen dürfte ein aus der Wirklichkeit

genommenes Beispiel das Gegentheil beweisen. Wollte man als Beispiel anführen, daß das aus einem Wasserspeier herabfallende Wasser auf einer schiefen Ebene mit einer größeren Geschwindigkeit, als der der Neigung der Ebene entsprechenden, nicht weiterfließt, so könnte eingewendet werden, dies Wasserquantum sei zu klein. Es wird deshalb ein großartiger Wasserfall als Beispiel zu wählen sein:

Das Wasser der Niagarafälle und zwar eine Masse von etwa 11600 Cubicfuß pro Secunde, fällt von einer Höhe von 144 bis 153 Fuß in eine Flußstrecke, die ein durchschnittliches Gefälle von 20,4 Fuß auf 100 Ruthen und eine Länge von nur 250 Ruthen hat. Dessenungeachtet ist der Niagarafluß unmittelbar unterhalb dieser Stromschnelle schiffbar und es hat hier eine völlig sichere Fähre errichtet werden können.

Die beiden in 2 Flußarmen liegenden Wasserfälle haben zusammen eine Breite von 1069 + 1897 = 2966 Fuß.

Die größte Hebung des Wasserspiegels, **h**, über den Felsen, von welchen sie herabstürzen ergiebt sich aus der Formel $M = \frac{2}{3}\, \alpha\, b\, h \sqrt{h}$, in welcher $\alpha = 7{,}54$ ist, in runden Zahlen gerechnet:

$$11600 = 5 \,.\, 2966 \sqrt{(h^3)}$$

$$\sqrt{(h^3)} = \frac{11600}{14830} = 0{,}782$$

$$h^3 = 0{,}6115;$$

$$h = \sqrt[3]{(0{,}6115)} = 0{,}85 \text{ Fuß}.$$

Bei dieser geringen Druckhöhe bewegt sich die Wassermasse in horizontaler Richtung nicht weit, fällt dann lothrecht herab und die erlangte bedeutende Geschwindigkeit bricht sich, abgesehen davon, daß das Wasser in Staubregen übergehen wird, auf der geneigten Ebene vollständig, so daß nur das Gefälle der letzteren bei der ferneren Bewegung des Wassers in Rechnung kommen kann.

Bei dem starken Gefälle von 20,4 : 1200' kann die Seitenreibung unberücksichtigt bleiben, es ist dann:

$$C = 2{,}646 \,.\, \sqrt{(E\,H)} = 2{,}646 \,.\, \sqrt{(20{,}4\,H)}.$$

Die untere Breite des Flusses beträgt etwa 750′, es ist also $M = 11600$ Cbkf. $= 750'.\ H.\ C.$ demnach $H = \frac{11600}{750.\ C}$;

$$C = 2{,}646.\sqrt{\left(20{,}4\ .\ \frac{11600}{750\ .\ C}\right)}$$

$$C^2 = 7.\ \frac{315}{C}.$$

$C^3 = 7\ .\ 315 = 2{,}205$, folglich:

$C = 13'$; $H = 1{,}19'$.

Da aber die größte mittlere Geschwindigkeit nicht größer als 10,4 sein kann, so ist $11600 = 750\ .\ 10{,}4.\ H$, folglich H, nicht wie berechnet, $= 1{,}19$, sondern $= 1{,}615$.

Das Wasser kann sich also in der Stromschnelle nur schäumend fortbewegen und wird auch in der Letzteren als Wasserfall erscheinen.

§ 26. Das im Jahre 1865 gedruckte, mehreren Hydrotekten zur geneigten Prüfung mitgetheilte Schriftchen: „Betrachtungen über das bei der Schiffbarmachung der Gebirgsflüsse in neuerer Zeit beobachtete Verfahren ꝛc. gab einer Autorität in der Hydrotechnik Veranlassung mir eine Schrift, betitelt: „Auch einige „Betrachtungen über das Verfahren bei der Schiffbarmachung der „freiabfließenden Gewässer“ zu übergeben. Diese anscheinend nur zu meiner Belehrung abgefaßte Schrift ist leider nicht veröffentlicht worden, dürfte daher nur wenigen bekannt sein.

Die gute Absicht des Herrn Verfassers nicht verkennend, glaubte ich mir bei eintretender Veranlassung aus dieser Schrift Rath holen zu können.

Die Veranlassung fand sich, indem aus den Aeußerungen Wasserbauverständiger hervorging, daß von denselben Ansichten vertreten werden, die im Anfange dieses Jahrhunderts nur noch bei Laien Geltung fanden.

Bei wiederholtem Lesen der gedachten Schrift fand ich in dieser dieselben, nach meiner Meinung, auf Irrthum beruhenden Lehren vorgetragen.

Der Irrthum besteht auf der einen oder der anderen Seite in der Auffassung bekannter Lehren der Hydraulik, auf welche der

Herr Verfasser der gedachten Schrift Bezug nimmt und auf welche auch meine Ansichten über Schiffbarmachung der Flüsse sich stützen.

Da eine Beleuchtung der ganzen, nur wenigen Personen bekannten Schrift nicht möglich ist, so hebe ich nur einzelne bedeutende Stellen heraus und theile diese hier wörtlich mit:

§ 27. «Denkt man sich nun einen Fluss, der eine ziemlich gleichmässige Breite, mit einem für den Schifffahrtsbetrieb angemessenen wiederum gleichmässigen Gefälle hätte und zwar bei einer — selbst bei seinem gewöhnlichen niedrigen Stande — stets genügenden Wassermenge, dessenungeachtet aber bei diesem niedrigen Stande nicht genügend schiffbar wäre, so kann die Ursach seiner Unschiffbarkeit lediglich und allein nur in seiner unverhältnissmässigen zu grossen Breite gesucht und gefunden werden.

Hat daher ein Fluss die zu seiner Schiffbarmachung nöthige Wassermasse mit einem nicht zu starken Gefälle, so kommt es vorzugsweise nur darauf an, seine Breite in den seichten Strecken für den niedrigen Wasserstand angemessen zu beschränken, bei gleichzeitiger, möglichst vollständiger Regulierung der in diesen Strecken neu auszubildenden und zu erhaltenden Schifffahrtsrinne, und zwar stets mit Rücksicht auf die angemessene Zuführung und Leitung des Wassers nach und in der Stromrinne aus dem obern breitern aber noch hinreichend tiefen Bette (Haltung) nach der einzuführenden resp. zu fixirenden Stromschnelle (Fuhrt)

Die abfliessende Wassermasse bleibt nämlich, beim Beharrungszustande immer dieselbe, der Fluss mag nun regulirt oder verwildert, schiffbar oder unschiffbar sein, denn zur Schiffbarmachung eines frei abfliessenden Flusses, dessen Quellengebiet zu erweitern und demselben neue Zuflüsse aus fremden Gebieten zu verschaffen, gehört gewiss zu den grossen Seltenheiten.

Ebenso wenig wie aber die Wassermenge eines Flusses zu vermehren ist, kann auch dessen Totalgefälle in weiten Ausdehnungen geändert werden.

Bei der Schiffbarmachung eines jeden Flusses (ohne Stauwehre) ist daher die Wassermenge und das Totalgefälle

bekannt und constant, und weil bei seinem gewöhnlichen niedrigsten Stande überall eine Wassertiefe von mindestens 3 Fuss verlangt wird, die Stromgeschwindigkeit aber von der abfliessenden Wassermasse, dem Gefälle und dem Querschnitte des mit Wasser gefüllten Raumes (Product aus der Breite und der mittleren Wassertiefe) abhängig ist, so bleibt bei den gestellten Anforderungen, blos die Breite der Schifffahrtsrinne veränderlich und zu bestimmen, die sich in allen Flussstrecken gleich bleiben würde, wenn das relative Gefälle in allen einzelnen Strecken gleich wäre, der Fluss auf allen Stellen eine gleiche Tiefe hätte und die Sohle des Bettes daher auch parallel mit dem gleichmässig fallenden Wasserspiegel liefe.

Hätte nun ein Fluss unter dieser Voraussetzung eine Wassermenge von 1200 Cbkf. pro Secunde abzuführen und ein gleichmässiges Gefälle von 4 Zoll auf 100 Ruthen, so würde dessen Breite bis auf nahe 13 Ruthen gleichmässig und regelrecht zu beschränken sein um eine Wassertiefe von nahe 3 Fuss zu erzeugen und zu behalten (abgesehen von den zufällig eintretenden Schifffahrtshindernissen). Denn bei der Wassermenge von 1200 Cbkf. pro Secunde und einem Gefälle von 4 Zoll auf 100 Ruthen wird die Stromgeschwindigkeit in der 13 Ruthen breiten und 3 Fuss tiefen Schifffahrtsrinne nahe $2\frac{1}{2}$ Fuss betragen (den Erfahrungs-Coefficienten in den rauhen und wenig tiefen Flussbetten zu 80 bis 85 angenommen.

Und weil die Wassermenge dem Producte aus dem Querschnitte und der Stromgeschwindigkeit gleich sein muss, so nähert sich das Product:

$13 \,.\, 12' \,.\, 3' \; 2\frac{1}{2}' = 1170$ Cbkf. der Wirklichkeit von 1200 Cbkf. Hätte derselbe Fluss daher, vor seiner Regulirung resp. Breitenbeschränkung eine Breite von 30 Ruthen gehabt, so würde dessen durchschnittliche Tiefe nur $1\frac{2}{3}$ Fuss haben betragen können, weil dessen Geschwindigkeit in dem 30 Ruthen breiten nahe 2 Fuss tiefen Bette, mit einem Gefälle von 4 Zoll pro 100 Ruthen sich im Durch.

schnitt auf nahe 2 Fuss stellt um pro Secunde 30 . 12′. $1\frac{2}{3}'$. 2′ = 1200 Cbkf. Wasser zum Abfluss zu bringen, woraus dann mit einem einzigen Blicke deutlich zu ersehen ist, dass durch die Verminderung der Flussbreite von 30 Ruthen auf 13 Ruthen, unter den vorausgesetzten Verhältnissen eine Mehrtiefe in der begrenzten Schifffahrtsrinne von $1\frac{1}{3}$ Fuss gewonnen werden kann, ohne die Stromgeschwindigkeit nur etwas über $\frac{1}{2}$ Fuss zu vermehren.

Aber selbst angenommen, dass die Breitenbeschränkung bis auf 12 Ruthen ausgedehnt werden müsste, um desto sicherer 3 Fuss Wassertiefe zu gewinnen, wodurch die Stromgeschwindigkeit bis auf $2\frac{3}{4}$ Fuss steigen würde, so würde der Vortheil, die Wassertiefe von $1\frac{2}{3}$ Fuss bis auf 3 Fuss lediglich durch eine gleichmässige Beschränkung der Schifffahrtsrinne bis auf 12 Ruthen Breite gebracht zu haben, den Nachtheil, dass die Schiffe auf ihrer Bergfahrt jetzt eine Stromgeschwindigkeit von nahe 3 Fuss überwinden müssen, die früher nur eine Stromgeschwindigkeit von 2 Fuss zu überwinden hatten, doch immer noch um ein so bedeutendes Maass übersteigen, dass gewiss Jedermann die Beschränkungen der seichten Flussbetten zum engern Zusammenhalten der abfliessenden geringen Wassermenge, Behufs der Vermehrung der Wassertiefe, trotz der dadurch bedingten grössern Stromgeschwindigkeit im Allgemeinen empfehlen und zur Ausführung bringen wird.“

§ 28. Diese aus der gedachten Schrift: „Auch einige Betrachtungen ꝛc.“ buchstäblich entnommenen Worte enthalten also die Lösung der Aufgabe: „einen Fluß von 30 Ruthen Breite, 1,666 Fuß Tiefe, in einen solchen von 13 Ruthen Breite, 3 Fuß Tiefe zu verwandeln, wenn derselbe bei dem niedrigsten Wasserstande 1200 Cbkf. Wasser führt und ein Gefälle von 4 Zoll = 0,333 Fuß auf 100 Ruthen hat.

Würde einem Architekten die Aufgabe gestellt, unter den gedachten Voraussetzungen, in einer Flußstrecke von 30 Ruthen Breite, bei dem niedrigsten Wasserstande, für nahe 3 Fuß tiefgehende Schiffe ein genügendes Fahrwasser herzustellen, so würde er zunächst feststellen, welche Breite für die Schifffahrtsrinne erfor-

derlich ist. Daß die Beschränkung des Flußprofils bei der gegebenen durchschnittlichen Wassertiefe einen Zweck nicht haben möchte, ist wahrscheinlich, denn wenn das Flußbett nicht aus sehr festem Material bestände, so würde der Strom selbst, bei Hochwasser, schon eine Schifffahrtsrinne von genügender Breite und Tiefe ausgebildet haben.

§ 29. Sollte indeß der Einfluß von Werken berechnet werden, die den 360 Fuß breiten Fluß auf eine Breite von 156 Fuß beschränken, so ergiebt sich nach der Eytelwein'schen Formel für die Wassermenge, oder auch nach der im § 11 entwickelten

$$\text{Formel: } \mathbf{M} = 2{,}66 \; \frac{\mathbf{B} \sqrt{(\mathbf{E}\ \mathbf{H})}}{\mathbf{B} + \frac{4}{3}\,\mathbf{H}} \, . \, \mathbf{B} \, . \, \mathbf{H},$$

die Wassermenge, welche der Fluß führt:

$$= 2{,}66 \, . \, \frac{360. \sqrt{(0{,}333 \, . \, 1{,}666)}}{362,\ 222} \, . \, 360 \, . \, 1{,}666.$$

= 1200 Cbkf. und die mittlere Geschwindigkeit des Wassers $\mathbf{C} = 1{,}97$ Fuß pro Secunde.

In Folge der Beschränkung der Flußbreite auf 156 Fuß vermehrt sich nach hydrostatischen Gesetzen die Geschwindigkeit des Wassers in der eingeschränkten Flußstrecke. Bezeichnet $\mathbf{C}^1$ die Geschwindigkeit in dem eingeschränkten Theile des Flusses, so ist

$$\mathbf{M} = \mathbf{B}\ \mathbf{H}\ \mathbf{C}^1$$

Wenn nun $\mathbf{M} = 1200$ Cbkf., $\mathbf{B} = 156'$, $\mathbf{H} = 1{,}666$, und diese Werthe in die vorstehende Gleichung gesetzt werden, so ist $1200 = 156 \, . \, 1{,}666 \, . \, \mathbf{C}^1$ und daraus

$$\mathbf{C}^1 = \frac{1200}{156 \, . \, 1{,}666} = \frac{1200}{260} = 4{,}62.$$

Wenn festgestellt ist, daß bei dem niedrigsten Wasserstande eine Fahrwasserbreite von 50 Fuß und für 3 Fuß tiefgehende Schiffe eine Wassertiefe von 3,25 Fuß genügt, so würde man nur ein diesen Abmessungen entsprechendes Fahrwasserprofil herzustellen haben.

Die Fläche des neuen Flußprofils würde also enthalten:

$$50 \, . \, 3{,}25 + 106 \, . \, 1{,}66 = 338{,}46 \text{ Quadratfuß.}$$

Da die Wassermenge = 1200 Cbkf. ist, so ergiebt sich die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in dem auf 156 Fuß Breite

eingeschränkten, eine Fahrwasserbreite von 50 Fuß enthaltenden Profil rot.

$$= \frac{1200}{338} = 3{,}55 \text{ Fuß.}$$

§ 30. Diese vertheilt sich auf die Breite von 50 Fuß, mit der Tiefe von 3,25 und auf die Breite von 106′ mit der Tiefe von 1,66 Fuß in folgender Weise: Wenn **V** und **v** die Geschwindigkeiten in dem tiefen und dem weniger tiefen Theile bezeichnen, so ist, da sich die Geschwindigkeiten wie die Quadratwurzeln aus den Wassertiefen verhalten,

$$\mathbf{V} : \mathbf{v} = \sqrt{(3{,}25)} : \sqrt{(1{,}66)} \text{ oder}$$
$$= 1{,}8 : 1{,}29 \text{ also}$$
$$\mathbf{v} = \frac{1{,}29\ \mathbf{V}}{1{,}8} = 0{,}72.\ \mathbf{V}.$$

Ferner ist:

$$50 \,.\, 3{,}25 \,.\, \mathbf{V} + 106 \,.\, 1{,}66 \,.\, \mathbf{v} = 1200$$
$$\text{oder } 162{,}5\ \mathbf{V} + 175{,}96 \,.\, 0{,}72 \,.\, \mathbf{V} = 1200,$$
$$\text{folglich } \mathbf{V} = \frac{1200}{289} = 4{,}2 \text{ Fuß}$$
$$\text{und } \mathbf{v} = 0{,}72 \,.\, 4{,}2 = 3 \text{ Fuß.}$$

Die ursprüngliche mittlere Geschwindigkeit von 1,97 Fuß vermehrt sich also in dem von 360 Fuß auf die Breite von 156 Fuß beschränkten Theile des Flusses, in der Schifffahrtsrinne, auf mehr als 4 Fuß, in dem nicht vertieften Theile des Profils auf 3 Fuß.

§ 31. Trotz dieser bedeutenden Vermehrung der mittleren Geschwindigkeit wird die in derselben gewonnene Kraft nicht ausreichen, um die verlangte Schifffahrtsrinne auszubilden, wenn das Flußbett aus schweren Geschieben oder aus Felsen besteht. Wenn dies der Fall ist, so hätte man durch die Beschränkung des Flusses von 360 Fuß auf 156 Fuß, zum Nachtheil für die Bergschifffahrt, die Geschwindigkeit nur von 1,97 Fuß auf 4,2 Fuß vermehrt und wäre genöthigt dennoch besondere Kosten auf die Ausarbeitung der Schifffahrtsrinne durch Wegräumung der schweren Geschiebe und Sprengen der Felsen zu verwenden, eine Ar-

heit, welche durch die vermehrte Geschwindigkeit des Wassers erheblich erschwert wird.

Ja selbst, wenn man die Beschränkung des Flusses bis auf 144 Fuß triebe, um eine mittlere Geschwindigkeit von $\frac{1200}{144 \cdot 1{,}666} = 5$ Fuß zu erzielen, so würde letztere nicht ausreichen um schwere Geschiebe und Felsen fortzutreiben.

§ 32. Da der Zweck die Flußstrecke zu vertiefen durch Einschränkungswerke nicht erreicht werden kann, vielmehr zur Felsensprengung, Ausbaggerung oder Wegräumung der schweren Geschiebe geschritten werden muß, so würde es eine Geldverschwendung sein, außerdem noch die Breite des Flusses zu beschränken. Man würde es daher vorziehen in der nicht eingeschränkten Flußstrecke eine Schifffahrtsrinne von 50 Fuß Breite und rot: 3 Fuß Tiefe auszubilden. Der Fluß erhält dann eine durchschnittliche Tiefe von

$$\frac{50' \cdot 3' + 310' \cdot 1{,}66'}{360'} = 1{,}82'$$

und eine Profilfläche von $50' \cdot 3' + 310' \cdot 1{,}66' = 664$ Quadratfuß.

Da die Wassermenge = 1200 Cbkf. bekannt ist, so ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers = 1,8'. Diese vertheilt sich auf die Breite von 50' mit einer Tiefe von rot: 3' und auf eine Breite von 310' mit der Tiefe von 1,66'.

Bezeichnen wieder **V** und **v** die den verschiedenen Wassertiefen entsprechenden Geschwindigkeiten, so ergiebt sich aus den Gleichungen:

$$V : v = \sqrt{(3)} : \sqrt{(1{,}66)} \text{ und}$$
$$50 \cdot 3 \cdot V + 310 \cdot 1{,}66 \cdot v = 1200,$$
$$V = 2{,}26 \text{ und}$$
$$v = 1{,}68.$$

Die ursprüngliche mittlere Geschwindigkeit des Wassers vermehrt sich also in dem vertieften Theile des Flusses, von 1,97' auf 2,26' und vermindert sich in dem nicht vertieften Theile auf 1,68'.

Wenn nach § 27 in dem gewählten Beispiele der niedrigste Wasserstand vorausgesetzt und bevorwortet ist, daß die genügende

Fahrwassertiefe in den Haltungen oberhalb und unterhalb vorhanden sei, so ist es zweifellos, daß die Geschwindigkeit des Wassers in der hergestellten Schifffahrtsrinne hinreicht, um die leichten Sinkstoffe, die der Fluß bei dem niedrigsten Wasserstande noch führt, fortzutreiben.

Bei hohem Wasserstande vermehrt sich die Geschwindigkeit des Wassers in der Schifffahrtsrinne in dem Maaße, daß sich Ablagerungen in derselben nicht bilden können Unter diesen Umständen hat eine Einschränkung der Fuhrt bis auf 13 oder sogar bis auf 12 Ruthen keinen Zweck.

§ 33. Weshalb der Herr Verfasser der Schrift: „Auch Betrachtungen ꝛc. ein Beispiel gewählt hat, in welchem die Fuhrt das sehr unbedeutende Gefälle von nur 0,33...′ auf 100° hat, da doch anscheinend eine Widerlegung der Behauptungen in dem Schriftchen: „Betrachtungen über das Verfahren bei Schiffbarmachung der Gebirgsflüsse" ꝛc. beabsichtigt wird, in welchem von einem Flusse die Rede ist, der ein durchschnittliches Gefälle von 5 Zoll, = 0,4166... Fuß besitzt und den man durch Ermäßigung der zu starken Streckengefälle, bis zu 0,75′ auf 100° ohne Anwendung von Schleusen, auch für den niedrigsten Wasserstand schiffbar zu machen gedenkt, weshalb der Herr Verfasser bei seiner Berechnung nicht eine Flußstrecke mit dem Gefälle von wenigstens 0,75′ auf 100° vorausgesetzt hat, ist nicht erklärlich, da es ihm ja leicht war, statt der Constanten 90,9 der **du Buat'**schen resp. Eytelwein'schen Formel eine andere, je nach dem sie für die Berechnung besser paßte, zu wählen.

§ 34. Daß der Herr Verfasser der gedachten Schrift, den ich „Herr **A**" nennen will, die Constante der **du Buat'**schen Formel für wandelbar hält, geht auch aus folgenden Zeilen hervor: **»Bei der Ermittelung der mittleren Geschwindigkeit des frei abfliessenden Wassers in Flussbetten, aus dem Inhalte und Umfange des Querschnitts und dem relativen Gefälle nach der bekannten du Buat'schen Formel, darf nicht übersehen werden, dass der darin eingeführte Versuchs- und Erfahrungs-Coefficient von 90,9 nur für regelmässige und ebene (glatte) Querschnitte passt, während derselbe für flache und**

unebene (rauhen) Querschnitte, zu gross und für tiefe Querschnitte mit einem starken relativen Gefälle zu klein ist.

Später angestellte vielfache Untersuchungen, besonders an der Saar und an der Ruhr mit grosser Sorgfalt ausgeführt, haben nämlich ergeben, dass bei geringen Wassertiefen selbst in ziemlich regelmässigen, durch beiderseitige ziemlich parallel laufende Ufer begrenzte Flussbetten jener Coefficient schon zu gross ist und auf etwa 80 vermindert werden muss, um der durchfliessenden Wassermenge nahe zu entsprechen.

Besteht dagegen das seichte Flussbett überdies noch aus sehr grossen Kiesgeröllen, mit grossen hervorragenden Steinen vermischt, oder wohl gar aus sehr ungleich hohen Felsentrümmern und Rippen, so hat jener Coefficient schon bis auf 60, in einzelnen Fällen sogar bis auf 54 reducirt werden müssen, um bei der vorhandenen genau ermittelten Wassermasse dem vorhandenen und genau gemessenen Gefälle und dem wirklich vorhandenen Querschnitt die wirkliche mittlere Geschwindigkeit des durchfliessenden Wassers nach jener Formel zu finden. Ganz ähnliche Resultate haben die Beobachtungen und speciellen Messungen in den stark verengten Flussstrecken ergeben, jedoch mit dem grossen Unterschiede, dass in diesen, durch vortretende Buhnen stark verengten Querschnitten, die Contraction des Wassers einen bedeutenden Einfluss ausübt und die Stromgeschwindigkeit in denselben bei weitem noch verschiedener ist, als in den Querschnitten mit parallelen Ufern.

Die nach der du Buat'schen Formel mit dem Coefficienten 90,0 berechneten mittleren Geschwindigkeiten in den eingeschränkten Fuhrten mit starkem Gefälle, stellen sich daher, im Verhältniss zum Querschnitt, immer als zu gross heraus, obgleich die Stromgeschwindigkeit in der Stromrinne (Contraction) dessenungeachtet grösser ist, als jene Formel angiebt,

Wer daher diese allgemein bekannte Formel mit dem Coefficienten 90,9 unter allen Umständen und in allen Fällen für die Bewegung des Wassers in Flussbetten anwendet, der wird zu einem richtigen Resultate gewiss niemals gelangen, obschon dieselbe zur Gewinnung einer allgemeinen Uebersicht von der Geschwindigkeit eines Flusses überhaupt, dessen Gefälle und Tiefe bekannt ist, mit sehr grossem Nutzen gebraucht werden kann.»

§ 35. Diese Auseinandersetzung enthält die Lehre, daß man Formeln der angewandten Mathematik nicht falsch anwenden darf. Was aber die willkürliche Abänderung der durch höchst sorgfältige Versuche ermittelten Constanten einer Formel betrifft, so widerstreitet erstere dem Begriff des Wortes „constant", welches die Unwandelbarkeit eines Gegenstandes oder einer Zahl bezeichnet. Die Constante ist zweifellos die unwandelbare Zahl in der Formel, während das Gefälle variabel ist und durch Nivellement ermittelt werden muß, Breite und Tiefe des Flusses aber, mag er sich im Naturzustande befinden, oder künstlich in der Breite beschränkt sein, gemessen werden können.

§ 36. Wäre man indeß leichtgläubig genug, um die Behauptung des Autors der gedachten Schrift, als richtig anzunehmen und setzte die Constante, die derselbe mit dem Ausdruck „Coefficient bezeichnet, um nicht das Extrem zu nehmen, in dem oben gedachten Zahlenbeispiel, auch nur $= 60$, so hätte man also die Formel $c = 60 \,.\, \sqrt{\left(\frac{\alpha}{\lambda} \,.\, \frac{A}{P}\right)}$, nach welcher die Geschwindigkeit des Wassers in der seichten Strecke von 1,66′ Tiefe, mit einem Gefälle von 0,33′ auf 100°, nachdem dieselbe von 360, auf 156′ beschränkt ist, vorausgesetzt, daß sich in derselben Felsentrümmer und Rippen befänden, zu berechnen sein würde.

Es wäre also

$$c = 60 \sqrt{\left(\frac{0{,}33}{1200} \,.\, \frac{156 \,.\, 1{,}66}{159{,}33}\right)}$$

$$= 60 \sqrt{\left(\frac{85{,}46}{191196}\right)} = 60 \sqrt{(0{,}00045)}$$

$$c = 60 \,.\, 0{,}0213 = 1{,}\ 278.$$

Mithin wäre, in dieser unrichtigen Weise berechnet, die Wassermenge **M** = 156 . 1,66 . 1,278 = 331 Cbkf. Da aber bekannt ist, daß der Fluß pro Secunde 1200 Cbkf. Wasser führt, so dürfte doch wohl die Constante oder der Coefficient des Herrn **A.** falsch sein.

§ 37. Ein Architekt würde in diesem Falle die Geschwindigkeit **C**, in folgender Weise berechnen:

Die bekannte Wassermenge **M** ist = 1200′. Bekannt ist ferner daß **M** = **B. H. C** ist, also 1200 = 156 . 1,66 . **C**; demnach

$$C = \frac{1200}{156 . 1,66 \ldots .} = \text{rot: } 4,63 \text{ Fuß.}$$

Anstatt der Geschwindigkeit von 1,278′, die sich nach der Berechnungsweise des Herrn **A** ergeben würde, ist dieselbe = 4,63′ also mehr als 3½ mal so groß. Aus dem Umstande, daß die Geschwindigkeit sich in Folge der Einschränkung des Flusses vermehrt hat, kann man den Schluß ziehen, daß sich die variabeln Zahlen der Formel, nämlich diejenigen, welche das Gefälle ausdrücken, verändert haben.

Wenn es zulässig wäre, die Constante der Formel willkürlich abzuändern, dann wäre die Formel zwecklos und könnte man sich füglich die Mühe des Rechnens ersparen.

Neuere Mathematiker haben allerdings durch Versuche und genaue Messungen in Canälen, etwas abweichende Constanten ermittelt, die Abweichung ist aber so gering, daß sich bei der Ausführung von Berechnungen der Einfluß derselben erst in der zweiten Decimalstelle äußert, weshalb E y t e l w e i n bei seiner praktischen Prüfung der du **Buat'**schen Formel diese Differenz unberücksichtigt gelassen haben mag.

§ 38. In Bezug auf die Hebung des Wasserspiegels, zwischen Einschränkungswerken, sagt Herr **A** Folgendes:

«Wer jedoch glauben und behaupten sollte, dass eine solche Breitenbeschränkung in Flussbetten im Allgemeinen und in den darin vorkommenden Stromschnellen insbesondere einen Einfluss auf die Hebung des Wasserspiegels auszuüben und hervorzubringen nicht im Stande wäre, der muss sich in seinen Auffassungen, Unterstellungen und Schlussfolgerungen nothwendig geirrt haben; denn während E y t e l w e i n

schon im vorigen Jahrhundert gelehrt hat: dass der Wasserspiegel eines 500 Fuss breiten Stromes, dessen mittlere Geschwindigkeit 3 Fuss beträgt, durch eine 150 Fuss lange Buhne um 3,08 Zoll aufgestaut (gehoben) werden kann: beweisen jetzt tausende von Beispielen die Richtigkeit jener Lehren, wovon sich jedermann mit eigenen Augen überzeugen kann, der es nur der Mühe werth hält, sich von dem früheren Zustande der jetzt regulirten Strecken auf der Saar, Mosel und Ruhr genaue Kenntniss zu verschaffen und damit deren jetzigen Zustand zu vergleichen.»

§ 39. Wenn Jemand sich genaue Kenntniß von dem früheren Zustande der gedachten Flüsse verschaffen wollte, so würde er bei Bereisung derselben finden, daß die ursprüngliche Breite derselben durch Buhnen und Parallelwerke beschränkt worden ist. Ob der Erfolg dieser im Interesse der Schifffahrt angelegten Werke den Erwartungen entspricht, kann man selbstredend nicht sehen, vielmehr muß man sich durch Erkundigung oder aus den Acten informiren, wie lange im Jahre die Schifffahrt, vor Anlage der Werke, ausgeübt werden konnte und wie lange etwa jetzt hinreichendes Fahrwasser vorhanden ist.

Was das angeführte Beispiel aus dem Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik von Eytelwein betrifft, so liegt mir die im Jahre 1823 erschienene 2te Auflage vor, in welcher, wie sich aus der Vorrede ergiebt, die Druckfehler der ersten im Jahre 1801 erschienenen Ausgabe verbessert worden sind. In dieser zweiten Auflage ist der Wortlaut des angezogenen Beispiels zu § 142 folgender:

„Durch eine angelegte Buhne, welche beinahe senkrecht auf die Richtung des Stromes liegt, ist ein 500 Fuß breiter und 6 Fuß tiefer Fluß, dessen mittlere Geschwindigkeit 3 Fuß beträgt, auf 350 Fuß eingeschränkt worden. Wieviel Aufstau wird oberhalb der Buhne wegen dieser Verengung entstehen?" Es ist also nicht von einer Hebung des Wasserspiegels zwischen dem Kopf der Buhne und dem gegenüberliegenden Ufer, sondern von dem Stau die Rede, den die Einschränkung oberhalb der Buhne erzeugt.

Die gesuchte Stauhöhe findet Eytelwein = 0,179 Fuß. Die Stauhöhe ist mithin nicht, wie Herr A angiebt, = 3,08 Zoll, sondern zu 2,148 Zoll berechnet, ergiebt sich jedoch, wie weiter unten nachgewiesen werden wird, noch geringer.

§ 40. In einem Beispiel zu § 143 berechnet Eytelwein, um wie viel man einen Fluß einschränken muß, um den Wasserspiegel oberhalb der Verengung um ein bestimmtes Maaß zu heben, also durch den Rückstau die Wassertiefe oberhalb zu vermehren.

In einer Anmerkung zu diesem Beispiel sagt er: „Man sieht hieraus, daß durch eine beträchtliche Verengung des Stroms nur eine geringe Erhöhung seiner Oberfläche (gemäß der Berechnung oberhalb) bewirkt wird, welches auch den Erfahrungen gemäß ist. Wenn aber der Zweck nicht Erhöhung der Oberfläche, sondern Verschaffung mehrerer Tiefe für die Schifffahrt ist, so wird dieser schon mit einem weit kürzeren Einbau dadurch erreicht, daß alsdann der Strom an der seichten Stelle eine beträchtlich größere Geschwindigkeit erhält, und durch Ausspülung des Grundbettes, wenn solches nicht aus festem Gestein besteht, eine größere Tiefe bewirkt wird.

§ 41. Es geht aus den angeführten Beispielen und der gedachten Bemerkung zweifellos hervor, daß Eytelwein nur von der Hebung des Wasserspiegels, welche der Rückstau oberhalb der Einschränkung veranlaßt, nicht aber von einer Hebung zwischen dem Einschränkungswerk und dem gegenüberliegenden Ufer spricht. Die Vermehrung der Geschwindigkeit des Wassers in dem eingeschränkten Theile des Flusses ist eben Folge der Hebung des Wasserspiegels oberhalb, indem erstere eine größere Druckhöhe bedingt. Es ändert sich also das Gefälle, was derjenige der nur einen einzigen Blick auf mathematische Lehrsätze wirft, leicht übersehen kann. Die Frage, ob der Wasserspiegel zwischen Einschränkungswerken sich hebe, oder ob die Geschwindigkeit des Wassers sich so vermehre, daß eine Hebung desselben, wenn sie endlich eintritt, einen Nutzen für die Schifffahrt nicht haben kann, dürfte Eytelwein als eine in der Hydrostatik bereits beantwortete angesehen haben. In der Vorrede zur ersten Auflage des Werks „Handbuch der Mechanik

fester Körper und der Hydraulik", sagt er nämlich auf Seite V ausdrücklich; „Statik und Hydrostatik sind durchgängig als bekannt vorausgesetzt worden."

In der Schrift „Beiträge zur Schiffbarmachung der Flüsse", von Reinhard Woltmann (Hamburg 1826) § 11 weist der Verfasser nach, weshalb aus der Beschränkung der Breite eines Flusses ein Vortheil für die Schifffahrt nicht erzielt werden kann.

§ 42. Hinsichtlich der glänzenden Resultate, welche bei der Schiffbarmachung verschiedener Flüsse, unter denen auch die Mosel genannt wird, für den niedrigsten Wasserstand, ohne Anwendung von Schleusen und Wehren erzielt sein sollen, dürfte nur anzuführen sein, daß die Schifffahrt auf der Mosel im Sommer 1865, wegen Wassermangels, volle vier Monat ganz geruht hat. Die Mosel hatte ehe die Regulirung in Angriff genommen wurde, zwischen Trarbach und Coblenz 21 natürliche Wehre, von denen man voraussetzte, daß sie ebensoviel Schleusen bedingten. Bis zum Jahre 1842 wurden die natürlichen Wehre, welche der Schifffahrt hinderlich waren, auf 7 bis 9 concentrirt, es waren also nur noch 7 bis 9 Schleusen erforderlich, um den Fluß auch für den niedrigsten Wasserstand schiffbar zu machen.

Für den kleinen Mittelwasserstand ist er es von je an gewesen, zur Zeit des Ausonius sogar schiffbar, wie das Meer, ohne Untiefen und Klippen. Jetzt bestehen in der gedachten Strecke der Mosel, gemäß der Schrift des Herrn A. wieder 24 natürliche Stauwehre. Ist das ein glänzendes Resultat?

§ 43. Herr A sagt: «**Mit der Regulirung und weiteren Schiffbarmachung — ohne Schleusen — ist zwar schon seit länger als 20 Jahren der Anfang gemacht worden, dieselbe hat aber noch nicht vollständig durchgeführt werden können. Soviel ist aber dafür schon geschehen, dass jene natürlichen die einzelnen Stromschnellen und seichten Untiefen erzeugenden Stauwehre nach und nach in regelmässige, bald längere, bald kürzere Fuhrten verwandelt worden sind, die gegenwärtig eine Gesammtausdehnung von etwas über 5 Meilen angenommen haben und noch etwa um 2 Meilen verlängert werden müssen, bei gleichzeitiger noch weitern**

Vertiefung in ihren Einläufen, um in ihren theilweiss noch immer zu starken Gefällen mindestens bis auf 9 Zoll pro 100 Ruthen vermindert zu werden.

Ist dies aber geschehen, so wird auch die Mosel in ihrer oben erwähnten 14 Meilen langen Strecke von Trarbach bis Coblenz eine Wassertiefe von 3 Fuss erhalten und stets behalten, sobald dieselbe 1500 Cbkf. Wasser pro Secunde und darüber führt, was leider bei ihrem niedrigsten Stande der in diesem Jahre nur 8 Zoll am Cochemer Pegel betragen hat, nicht der Fall ist, aus welchem Grunde denn auch die Schifffahrt selbst künftig noch zeitweise unterbrochen werden wird.»

§ 44. Diese Aeußerung dürfte das Zugeständniß enthalten, daß man die gedachte Strecke des Moselflusses, für den niedrigsten Wasserstand, bei welchem der Fluß nur 1200 Cubikfuß Wasser pro Secunde führt lediglich durch Einschränkung des Flußprofils und Anlage von Grundschwellen nicht schiffbar machen kann, wenn es nicht möglich ist, die Wassermenge zu vermehren. In diesem Zugeständniß liegt auch die Anerkennung, daß Einschränkungen, wie sie an der Mosel ausgeführt sind, keinen Zweck haben.

Wenn indeß der Fluß auch bei dem niedrigsten Wasserstande 1500 Cubikfuß Wasser führte, so würde doch in einer Flußstrecke von 30 Ruthen Breite mit einem Gefälle von 1 Fuß auf 100 Ruthen die Wassertiefe nur 1,36 Fuß, die mittlere Geschwindigkeit 3,064 Fuß betragen. Letztere würde durch Verengung der Flußbreite bis zu 144 Fuß, auf 7,66 Fuß vermehrt werden. Ermäßigte man dagegen das Gefälle von 1 Fuß auf 0,75 Fuß, so würde die Wassertiefe 1,495 Fuß betragen, die mittlere Geschwindigkeit dagegen nur 2,787. Wird die Flußbreite auf 144 beschränkt, so steigert sich die mittlere Geschwindigkeit auf 7 Fuß.

Es würde also auf Felsengrund immer noch eine künstliche Vertiefung der Schifffahrtsrinne erforderlich sein.

§ 45. Es sei gestattet auf das im § 39 erwähnte Eytelwein'sche Zahlenbeispiel, auf welches Herr A. Bezug nimmt, zurückzukommen und die Wirkung einer 150 Fuß langen Buhne, die einen 500 Fuß breiten, 6 Fuß tiefen Fluß auf die Breite von 350 Fuß beschränkt, näher zu betrachten:

Es ist bekannt, daß der Wasserspiegel an der Wurzel der Buhne oberhalb höher steht, als unterhalb. Der Grund ist einfach der, daß das Wasser, welches vor Anlage der Buhne durch den Theil des Flusses floß, den letztere einnimmt, nicht mehr abfließen, den Raum unterhalb daher nicht mehr direct füllen kann. Wenn nun der Fluß vor Anlage der Buhne die mittlere Geschwindigkeit von 3 Fuß pro Secunde hatte, aus welcher sich das Gefälle berechnen läßt, so ist es zweifellos, daß das letztere sich in dem eingeschränkten Theile verändert hat und daß das neue Gefälle in diesem Theile von der Höhen-Differenz x der Wasserspiegel oberhalb und unterhalb an der Wurzel der Buhne abhängig ist.

Das oberhalb aufgestaute Wasser hat die Neigung nach dem freien Theile des Flusses, in welchem der Wasserspiegel niedriger ist, zu fließen und übt auf das freifließende Wasser bis an das gegenüberliegende Ufer einen Druck aus. Das unterhalb der Buhne in dem freien Fluß fließende Wasser hat die Neigung dem stärksten Gefälle zu folgen und die unterhalb der Wurzel der Buhne entstandene Lücke auszufüllen. Da die Erfahrungen, welche **du Buat** im zweiten Capitel des Werks: «**Principes d'Hydraulique vérifiés par un grand nombre d'expériences faites par ordre du gouvernement (Paris 1786)** mitgetheilt', als bekannt vorausgesetzt werden können, so wird es eines Beweises nicht bedürfen, daß die dem neuen Gefälle x entsprechende Länge gleich ist der aus der doppelten Länge der Buhne und der doppelten Breite des Flusses gebildeten Summe, dividirt durch zwei.

Die doppelte Länge der Buhne ist nämlich der kürzeste Weg zwischen den Wasserspiegeln oberhalb und unterhalb an der Wurzel der Buhne und die doppelte Breite des ganzen Flusses ist der weiteste Weg zwischen diesen Punkten. Die mittlere Länge ist also:

$$\frac{2 \cdot 150' + 2 \cdot 500'}{2} = 650;$$

das neue Gefälle ist $= x : 650$.

§ 46. Berechnet man das ursprüngliche Gefälle des Flusses nach der Formel $c = 2{,}646 \cdot \frac{B \sqrt{(E\,H)}}{B + \frac{4}{3}\,H}$, so ist, wenn die

Zahlenwerthe eingeführt werden:

$$3 = 2{,}646 \frac{500 \sqrt{(6 \,.\, E)}}{508} \text{ oder}$$

$$\sqrt{(6 \,.\, E)} = 1{,}152;$$

$$E = \frac{1{,}327}{6} = 0{,}22 \text{ Fuß.}$$

Das Gefälle ist also = 0,22 : 1200.

Die Wassermenge die der Fluß pro Secunde führt, ist = 500 . 6 . 3 = 9000 Cbkf.

Wenn der Fluß auf die Breite von 350 Fuß eingeschränkt wird, so ist die mittlere Geschwindigkeit des Wassers zwischen dem Buhnenkopf und dem gegenüberliegenden Ufer $= \frac{9000}{350 \,.\, 6} = 4{,}2857$ oder, da sich nach § 14 die Geschwindigkeiten umgekehrt wie die Flußbreiten verhalten, 500 : x = 350 : 3, woraus sich x ebenfalls = 4,2857 ergiebt.

Welchem Gefälle diese Geschwindigkeit entspricht, ergiebt sich nach § 19 aus der Gleichung:
$4{,}2857 = 2{,}646 \,.\, \sqrt{(E \,.\, 6)}$ und zwar ist E = 0,4374, also ist das neue Gefälle = 0,4374 : 1200.

Da nach § 45 das neue Gefälle = x : 650 ist, so kann x aus der Proportion:
0,4374 : 1200 = x : 650 entwickelt werden. Es ist x = 0,2369.

Das Maaß, um welches der Wasserspiegel an der Wurzel der Buhne unterhalb sinkt ist $= \frac{x}{2} = 0{,}11845$.

Um das Maaß zu finden, um welches sich der Wasserspiegel an der Wurzel der Buhne oberhalb hebt, ist die Reibung mit in Betracht zu ziehen: es ist

$$4{,}2857 = 2{,}646 \frac{350 \,.\, \sqrt{(6\, E)}}{258} \text{ oder}$$

$$1{,}194 = \sqrt{(6.\, E.)} \text{ und daraus } E = 0{,}2376.$$

Der Wasserspiegel hebt sich daher oberhalb um
0,2376 — 0,11845 = 0,11915′ oder rot: 0,12 Fuß.

Bei Ermittelung der einzelnen Geschwindigkeiten kommt aber die ganze Differenz der Wasserspiegel nämlich rot: 0,24 Fuß in

Rechnung. Bei diesen Berechnungen ist die kleine Differenz der Tiefe, welche die Hebung des Wasserspiegels oberhalb und das Sinken desselben unterhalb veranlaßt, als zu unbedeutend, außer Betracht gelassen.

§ 47. Es ist zweifellos, daß die Wirkung dieser Druckhöhe auf die Geschwindigkeit des Wassers in der Nähe des Buhnenkopfs erheblich stärker sein muß, als in der Mitte des freien Flusses, um so mehr also stärker als die Wirkung des Drucks, der die Geschwindigkeit am jenseitigen Ufer erzeugt.

Zunächst am Buhnenkopfe hat nämlich die zu der Gefällehöhe von 0,24 Fuß gehörige Länge nur das doppelte Maaß der Buhne, + der Breite der letzteren, ist also, $= 2 \,.\, 150' + 10' = 310'$. Reducirt man das Gefälle auf y : 1200, so ergiebt sich y aus der Proportion 0,24 : 310 = y : 1200 und daraus y = 0,93.

Das Gefälle zunächst am Buhnenkopf ist also = 0,93 : 1200. Die entsprechende mittlere Geschwindigkeit v des Wassers wird gefunden, aus der Gleichung:

$$v = 2{,}646 \sqrt{(0{,}93 \,.\, 6)} = 6{,}25'.$$

Um die mittlere Geschwindigkeit des Wassers am gegenüberliegenden Ufer zu erzeugen, hat die bewegende Kraft die doppelte Breite des Flusses zu durchlaufen, das entsprechende Gefälle ist also, da die Druckhöhe dieselbe ist, = 0,24 : 1000 oder auf **z** : 1200 reducirt:

$$0{,}24 : 10 = z : 12;$$
$$z = 0{,}288.$$

Bezeichnet **W** die dem Gefälle entsprechende mittlere Geschwindigkeit, so ist

$$W = 2{,}646 \sqrt{(0{,}288 \,.\, 6)}$$
$$W = 3{,}477.$$

Die größte mittlere Geschwindigkeit am Kopfe der Buhne ist also = 6,25 die kleinste am jenseitigen Ufer = 3,477 und die mittlere = 4,2857.

Die mittlere Geschwindigkeit ist nahe = der halben Summe der größten und kleinsten Geschwindigkeit; erstere liegt also in der Mitte zwischen der Buhne und dem gegenüberliegenden Ufer. Beobachtet man an letzteren das fließende Wasser, so hat es den

Anschein, als ob der Strom Anfangs in der Mitte des freien Flusses den Wasserspiegel höbe und daß diese Hebung sich allmälig dem Ufer nähere. Dies ist eine offenbare Täuschung. Der Wasserspiegel erscheint nur aus dem Grunde höher, weil ein Theil des Wassers nach der andern Seite des Flusses abfließt, um den Raum unterhalb der Buhne, dessen directer Zufluß gestört ist, füllen zu helfen.

Die Geschwindigkeit am Kopf der Buhne ist zweifellos in den verschiedenen Tiefen verschieden und jedenfalls auf der Sohle des Flusses am größten.

Da wo sich am Kopf der Buhne, conf. § 48, der Einfluß der Contraction am auffallendsten zeigt, steht bei dem Beharrungszustande des Flusses der Wasserspiegel nicht höher, als an der Wurzel der Buhne unterhalb, das Gefälle ist also 0,24 : 150 oder auf die Länge von 1200′ reducirt = 1,92 : 1200.

Die größte Geschwindigkeit auf der Sohle ist also:

$$= 2{,}646.\ \sqrt{(1{,}92.\ 6)} = 2{,}646.\ \sqrt{(11{,}42)} = \text{rot. } 9'$$

Jedenfalls bricht sich dieselbe größtentheils auf der Sohle des Flusses.

§ 48. Eine natürliche Folge der großen Geschwindigkeit des Wassers am Kopf der Buhne ist das Sinken des Wasserspiegels vor derselben. Das aufgestaute Wasser oberhalb der Buhne kann nicht rasch genug diejenige Geschwindigkeit gewinnen, welche erforderlich ist, um den leeren Raum, den das schnell abfließende Wasser zurückläßt, zu füllen. Es bildet sich deshalb, wie man das an der hiesigen Moselbrücke bei hohem Wasserstande wahrnehmen kann, an dem Anschluß des im Grundriß dreieckigen Pfeilerkopfs an dem Pfeiler, ein förmlicher Trichter, der zu Zeiten, bei ungewöhnlich hohem Wasserstande, nach den Quaderfugen und dem in der Nähe stehenden Pegel abgeschätzt, von der Vorderkante des Pfeilers ab, eine Tiefe von mehr als 3 Fuß erreicht. Weiter unten füllt das aus der Mitte des eingeengten Flusses zufließende Wasser die entstandene Lücke. Wenn man hier sowohl, wie in der Mitte des freien Wassers vor einer Buhne wahrnimmt, daß der Wasserspiegel in der Mitte offenbar höher ist, als dicht an dem Kopf des Pfeilers oder der Buhne, so hat er sich nicht in der Mitte gehoben, sondern er ist vor dem Pfeiler oder dem Buhnenkopf gesunken.

§ 49. Wegen der großen Geschwindigkeit des Wassers, welche weit in den Fluß hineinragende Buhnen vor ihren Köpfen veranlassen, brechen letztere so häufig ab, außerdem entstehen Seitenströmungen und Wirbel, weil der Raum unterhalb der Buhne, der des directen Zuflusses entbehrt, gefüllt werden muß.

In den Bogenöffnungen der hiesigen alten Moselbrücke wird, bei außergewöhnlich hohen Wasserständen, die Geschwindigkeit des Wassers so groß, daß das unterhalb derselben im freien Flusse verdrängte Wasser in Folge der Geschwindigkeit mit der es zurückfließt, sich theilweise in Schaum verwandelt und bei dem Zurückfließen, unterhalb der Pfeiler, sich stauet, so daß es höher zu stehen scheint, als dasjenige in den Brückenöffnungen selbst, obgleich der Raum unterhalb der Pfeiler augenscheinlich nur durch zurückfließendes Wassers gefüllt wird. Wie groß hier die Differenz der Geschwindigkeit in den verschiedenen Tiefen sein muß, kann man aus den Trichtern und Wirbeln, die sich bilden, abnehmen, da diese jedenfalls nur aus dem Grunde entstehen, weil die verschiedenen Geschwindigkeiten sich auszugleichen suchen.

§ 50. Nach der Berechnung im § 46 ist der Stau, den eine 150 Fuß lange Buhne in einem 500 Fuß breiten, 6 Fuß tiefen Fluß veranlaßt, nicht bedeutend.

Derselbe muß sich noch verringern, wenn die Flußsohle, in Folge der großen Geschwindigkeit des Wassers, vertieft wird, weil in dem vergrößerten Profil eine geringere mittlere Geschwindigkeit eintritt, mithin eine geringere Druckhöhe erforderlich ist. Da die Schiffe oberhalb der Buhne das mit dem eingeschränkten Theile des Flusses correspondirende nicht gehobene Fahrwasser passiren müssen, so leuchtet es ein, daß durch die Einschränkung der Flußbreite für die Schifffahrt nur dann ein Vortheil erzielt werden kann, wenn zwischen den Einschränkungswerken eine Vertiefung der Flußsohle eintritt. Solche Werke sind also nur da anwendbar, wo die Flußsohle aus leichtem Material besteht, welches in Folge der vermehrten Geschwindigkeit fortgetrieben wird. Wenn dies möglich ist, so darf man nicht vergessen, daß ein geeigneter Platz zur Ablagerung des fortgetriebenen Materials erforderlich ist, denn wenn es sich wieder in die Schifffahrtsrinne legt, so ist durch die erste Buhne oder ein Buhnensystem nichts gewonnen, vielmehr

wird ein zweites und event. eine größere Anzahl erforderlich werden, so daß die Bau- und Unterhaltungskosten unverhältnißmäßig höher werden, als die des wiederholten Baggerns. Zieht man in Betracht, daß das Baggermaterial in der Regel zweckmäßig verwandt werden kann, so wird man nicht umhin können, zuzugestehen, daß die Anwendung der Buhnen, lediglich im Interesse der Schifffahrt, einer sorgfältigen Erwägung bedarf.

§ 51. Es mag befremden, daß die im § 46 gegebene Berechnung der Stauhöhe ein noch geringeres Resultat giebt, als die Eytelwein'sche in dem Beispiel zu § 142 seiner Hydraulik. Der Grund liegt darin, daß Eytelwein das nach erfolgter Anlage der Buhne unterhalb derselben hinzugetretene Gefälle von dem Wasserspiegel in der Mitte des freien Flusses, bis zu dem an der Wurzel der Buhne, unberücksichtigt läßt. Die Eytelwein'sche Berechnung paßt für den Moment, in welchem die Wirkung der Buhne eintritt und die berechnete Hebung des Wasserspiegels erforderlich ist, um die nöthige Geschwindigkeit des Wassers zu erzeugen, während zur Erhaltung derselben eine geringere Hebung des Wasserspiegels oberhalb der Buhne ausreicht.

Daß die Erhöhung der Oberfläche des Wassers oberhalb der Buhne nur sehr gering ist, erwähnt Eytelwein ausdrücklich. Dieselbe muß um so geringer sein, je geringer das Gefälle des Flusses ist. Als Grund, daß sie nicht groß sein kann, ist auch anzuführen, daß die Geschwindigkeit des Wassers nach der Breite des Flusses ungleich vertheilt ist, und daß jedenfalls bei Anlage einer langen Buhne ein Theil der Flußbreite abgeschnitten wird, in welchem die Geschwindigkeit bedeutend kleiner als die mittlere ist.

§ 52. Daß es sich bei diesen Berechnungen nur um einen Fluß handeln kann, der sich im Beharrungszustande befindet, bedarf kaum der Erwähnung, es geht aus der Berechnung selbst hervor. Auf die bei wachsendem Wasser eintretenden Erscheinungen ist schon im § 15 aufmerksam gemacht worden, es dürfte nur noch zu erwähnen sein, daß man leicht auf die Vermuthung kommen kann, es möchte bei wachsendem oder fallendem Wasser den Einschränkungswerken ein besonderer Einfluß beizumessen sein. Wenn ein solcher eintreten sollte, so könnte er nur sehr vorübergehend sein. Jedenfalls würde sich wenn die Vermuthung be-

gründet wäre, ein wesentlicher Vortheil für die Schifffahrt nicht ergeben, indem dieser sich immer nur in den sehr kurzen Uebergangsperioden vor dem Eintritt und nach dem Aufhören des niedrigen Wasserstandes geltend machen könnte.

§ 53. Der Glaube, daß die Einschränkung der Flußprofile eine allgemeine Hebung des Wasserspiegels veranlassen müsse, ist jetzt anscheinend wieder so tief eingewurzelt, daß es nicht leicht sein mag, denselben zu erschüttern, indem der Glaube an die Untrüglichkeit der Autoritäten, die zufällig eben zur Geltung gekommen sind, leicht Eingang findet. Selbst wenn solche Autoritäten die trifftigsten Gründe haben sollten, an der Richtigkeit ihrer bisherigen Ansicht zu zweifeln, so werden sie sich nicht leicht entschließen einen Irrthum zuzugestehen, zumal wenn sie in demselben seit einer langen Reihe von Jahren befangen gewesen sind. Uebrigens wird es ihnen leicht werden jeden Laien von der Richtigkeit ihrer Ansicht durch den Augenschein zu überzeugen, eben so leicht, wie man denjenigen, dem die Bewegung der Weltkörper unbekannt ist, überzeugen kann, daß sich die Sonne um die Erde bewegt.

Zu bedauern ist es, wenn auch neuere Schriftsteller und Forscher, statt bei ihren Forschungen anerkannte Wahrheiten zu benutzen und auszubeuten, das als zutreffend Anerkannte mit Geringschätzung verwerfen. So muß es jeden Verehrer der gründlichen Forscher Eytelwein und du Buat unangenehm berühren, in dem, wahrscheinlich von einem Baubeamten geschriebenen Prospect zur Uebersetzung eines größern Werks: „Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen“, folgende Worte zu lesen:

«**Die sogenannte Eytelwein'sche Geschwindigkeitsformel, welche lediglich auf einer in der Erscheinung nicht begründeten theoretischen Annahme beruhte, galt, obwohl die ungeheure Veränderlichkeit ihres constant sein sollenden Coefficienten allmählich höchst verdächtig wurde, doch 50 Jahre lang als Evangalium. In Ermangelung eines Bessern und da eine gründliche Reform in dieser Sache aus sehr triftigen Gründen die Kräfte des Einzelnen überstieg, behalf man sich so gut es eben ging. Dieses allzugrosse Vertrauen auf eine Formel, deren Fehlergrenzen man auch nicht einmal**

annähernd kannte, war wohl eine, wo nicht die wesentlichste, der Ursachen, dass so manche hydrotechnische Unternehmen, wie Flusscorrectionen, Triebwerke, Wasserleitungen, Ent- und Bewässerungen, dem gewünschten Erfolg nicht entsprachen, wofür es sicher an Beispielen nicht fehlt.»

Wie aus dem Inhaltsverzeichniß dieser Schrift hervorgeht, gründet sich die neue Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Canälen und die angekündigte neue Formel auf praktische Ermittelungen und hat, wie das wohl nicht anders möglich ist, ebenfalls eine Constante. Wenn es Jemand einfallen sollte, diese als einen Coefficienten anzusehen, den man willkürlich ändern kann, dann wird demselben mit der neuen Formel nicht besser gedient sein, als mit der Eytelwein'schen.

§ 54. Welchen Werth Schreiber dieser Zeilen auf letztere legt, geht aus § 12 hervor, in welchem die Resultate der Berechnung nach der auf mathematischem Wege gefundenen Formel, mit denen, welche die Eytelwein'sche, auf praktischem Wege ermittelte Formel giebt, verglichen sind, um nachzuweisen, daß erstere der Wirklichkeit entsprechen. Berechnet man dieselben unter Anwendung der im § 22 gefundenen Constanten, so ergiebt sich die Differenz der Resultate der Eytelwein'schen und der neuen Formel für die geringste Breite des Canals etwas größer, für die größte Breite aber kleiner, so daß bei der Breite von 100 Fuß bei einem Gefälle von 64 Fuß zu 1200 Fuß und einer Wassertiefe von 0,25 Fuß die Resultate genau übereinstimmen. Demjenigen, der die Eytelwein'schen Formeln richtig anwendet, werden dieselben jedenfalls genügen und würde es überflüssig sein, andere auf mathematischem Wege zu entwickeln, wenn es nicht nöthig schiene, dem Einwurf gegen die ersteren, daß sie aus Versuchen an ganz kleinen Gerinnen hervorgegangen seien, zu begegnen.

Die Nothwendigkeit ein mathematisch begründetes Gesetz den empyrischen Ermittelungen zum Grunde zu legen, dürfte nicht zu verkennen sein, obgleich denjenigen die eine willkürliche Abänderung der Constanten für zuläßig halten, das Gesetz keinen Vortheil gewähren wird.

§ 55. Wie in jedem speziellen Falle das entsprechende Gefälle bei der Anwendung der Formeln ermittelt wird, ist im §

45 angedeutet worden. Um indeß Irrthümer zu vermeiden, wird schließlich nochmals wiederholt, daß die Constante = 2,646 in den Formeln § 23 ebenso wie die der Eytelwein'schen = 90,9 oder vielleicht richtiger = 90,0, unwandelbar, das entsprechende Gefälle in jedem speciellen Falle zu erforschen ist und daß der Buchstaben **E** in den Formeln stets das der Länge von 1200 Fuß entsprechende Gefälle bezeichnet. Wenn also das Gefälle $\frac{E}{n} : \frac{1200}{n}$ gegeben ist, so muß dasselbe bei Anwendung der Formeln der §§ 11 und 23 auf **E**: 1200 reducirt werden. Aus diesem Grunde ist es in manchen Fällen bequemer, die Eytelwein'sche Formel zu benutzen, in welcher die Verhältnißzahlen des Gefälles einer Reduction nicht zu unterwerfen sind. Dies sind aber nicht die Verhältnißzahlen, welche das allgemeine Gefälle des Flusses ausdrücken, bei Ermittelung derselben müssen vielmehr die zufällig oder künstlich veranlaßten Einflüsse, die das allgemeine Gefälle alteriren, berücksichtigt werden.

§ 56. Der einzig richtige Weg die mittlere Geschwindigkeit in den einzelnen Profilen einer Flußstrecke zu finden, die keine besondere Seitenzuflüsse hat, ist der, daß man in einem Profil die Wassermenge ermittelt, die der Fluß führt, diese ist dann in jedem andern Profil durch den Quadratinhalt der Profilfläche zu dividiren. Der Quotient ist die mittlere Geschwindigkeit in diesem Profil. Die Wassermenge, die der Fluß pro Secunde führt, wenn dieselbe nicht durch Nebenzuflüsse vermehrt wird, muß in jedem Profil dieselbe sein. Eine durchschnittliche mittlere aus verschiedenen Profilen entnommene Tiefe in Rechnung zu bringen, ist selbstredend unzulässig. Die entsprechende durchschnittliche mittlere Geschwindigkeit ist in einer Flußstrecke mit gleichmäßigem Gefälle des Wasserspiegels aus den kleinsten Profilen zu berechnen.

§ 57. Wenn man also eine Formel, wie die Eytelwein'sche zur genauen Berechnung der Wassermenge hat, so ist dem Bedürfniß vollkommen entsprochen und ist eine Formel zur directen Bestimmung der mittleren Geschwindigkeit, da dieselbe, um allen Zufälligkeiten vollkommen zu entsprechen, sehr complicirt sein müßte, durchaus entbehrlich.

Eytelwein hat nicht unterlassen, darauf aufmerksam zu machen, daß die sogenannte Geschwindigkeitsformel nur für regelmäßig geformte Canäle paßt, bei deren Anwendung auf unregelmäßige Flüsse deßhalb besondere Erwägungen eintreten müssen, namentlich in Bezug auf die anzunehmende mittlere Breite und Tiefe.

§ 58. Soll nach der Eytelwein'schen oder nach den in den §§ 11 und 23 mitgetheilten Formeln für einen Fluß, dessen Totalgefälle des Wasserspiegels bei dem niedrigsten Wasserstande bekannt ist, die mittlere Geschwindigkeit oder die Wassermenge berechnet werden, so muß man dabei ein entsprechendes Normal-Profil im Auge haben. Ein solches in der Wirklichkeit herzustellen, wie es Pechmann in dem Werke: „Praktische Anleitung zum Flußbau" für nothwendig hält, dürfte weder möglich sein, noch einen Zweck haben. Die Herstellung einer Normalbreite und Normaltiefe würde den Verlust aller Lagerplätze für die Sinkstoffe, welche der Fluß führt, zur Folge haben und diese würden sich beim niedrigsten Wasserstande, bei welchem die vermehrte Geschwindigkeit zum Forttreiben derselben nicht mehr ausreicht, in der Schifffahrtsrinne niederlegen.

§ 59. Woltmann spricht die Ansicht aus, daß man durch Einschränkung des Flußprofils den Wasserspiegel nicht so heben könne, daß für die Schifffahrt ein Vortheil durch die Hebung erzielt werde, weil eine solche in der Schifffahrtsrinne nur durch Beschränkung des Flusses in seiner ganzen Länge erreicht werden könne. Diese Ansicht ist richtig, wenn die Länge des Flusses als unendlich angenommen wird, ein Fall der nicht denkbar ist. Da nach § 5 des vorliegenden Schriftchens die Reibung auf der Flußsohle verhältnißmäßig größer ist, als die an den Seitenwänden, durch die Beschränkung der Breite der Flußsohle also die Reibung vermindert und deßhalb die Geschwindigkeit vermehrt wird, so würde bei eintretendem Beharrungszustande die Wirkung der Einschränkung aufhören oder höchstens veranlassen, daß der Beharrungszustand etwas später eintritt. Wenn sich nämlich der Wasserspiegel in dem eingeschränkten Flusse gehoben hätte, wie es bei wachsendem Wasser der Fall ist, so würde schließlich an seiner Mündung in den Strom, in den er sich ergießt, ein Wasserfall entstehen und

müßte sich die Geschwindigkeit des Wassers vergrößern, es würde also hier eine größere Wassermenge pro Secunde abgeführt werden, die, weil eine Lücke nicht entstehen kann, von oben ersetzt werden muß. Die größere Geschwindigkeit wird sich also nach oben fortpflanzen, bis der Beharrungszustand vollständig hergestellt ist. Ohne Vermehrung der Wassermenge kann sich demnach der Wasserspiegel des frei fließenden Wassers nicht heben.

§ 60. Die Kunst, Flüsse zu reguliren und schiffbar zu machen, wird häufig als ein Geheimniß angesehen, in welches nur wenige besonders Erleuchtete einzudringen vermögen. Indeß findet die Ansicht, daß man durch Einschränkung des Flußbettes den Wasserspiegel heben könne, leicht Eingang, denn Jedermann begreift, daß sich der Wasserspiegel in einem Gefäße heben muß, wenn man letzteres verengt. Man sieht es ja täglich beim Waschen der Hände. Ja selbst der Affe versteht es den Wasserspiegel in einem engen Behälter zu heben, indem er so lange Steine hineinwirft, bis das Wasser hoch genug gestiegen ist, um es trinken zu können. Daß er in dieser Absicht Steine in frei fließendes Wasser werfen wird, möchte zu bezweifeln sein. Das in der nicht unter dem Siegel der Verschwiegenheit, sondern in einer durch Umdruck vervielfältigten Schrift mitgetheilte, in den §§ 27, 34, 38 und 43 enthaltene Geheimniß scheint zwar eines Commentars nicht zu bedürfen.

Da indeß ein Herr, dem die Lehren der gründlichen Forscher des vorigen Jahrhunderts bekannt sind, nach dem Lesen dieser Schrift, ebenfalls den Unterschied zwischen den Profilen zweier Gefäße von verschiedener Weite und zweier ungleich breiter Profile eines Flusses übersehend, sich den in der gedachten Schrift ausgesprochenen Ansichten glaubte zuwenden zu müssen, so erschien doch eine Beleuchtung der letzteren nicht überflüssig. Schließlich dürfte zu erwähnen sein, daß die von dem Schreiber dieser Zeilen vertheidigten Ansichten, obgleich sie im Widerspruch mit der Meinung der Laien standen, von den gründlichsten Forschern in der Wasserbaukunst, im vorigen und im Anfang dieses Jahrhunderts, bei allen Sachverständigen zur Geltung gebracht worden waren und die Ueberzeugung auszusprechen sein, daß dieselben zweifellos wieder Anerkennung finden werden. Zu bedauern ist es nur, daß

die früher mit geringen Mitteln gemachten Versuche, welche, falls man an der Richtigkeit der Resultate zweifelte, wenn auch im ausgedehnteren Maaße, doch mit verhältnißmäßig geringen Mitteln wiederholt werden konnten, dem Staate enorme Kosten verursacht haben und selbst wenn andere Ansichten Platz greifen sollten, noch veranlassen werden.

Im § 41 habe ich mich auf Woltmann bezogen, dessen Schriften vor etwa 40 Jahren den Studirenden besonders empfohlen wurden. Derselbe spricht sich in seinen vom Jahr 1791 bis 1799, in 4 Bänden erschienenen Werke „Beiträge zur hydraulischen Architectur," wiederholt über die Einschränkungswerke aus und sagt im ersten Bande: „Da ich, mit einem Worte, sehr zweifelhaft bin, ob mit dem gewöhnlichen Einbauen im Ganzen mehr Schaden als Vortheil gestiftet werde und die Strombaukunst von dieser Seite nicht eine ganz wesentliche Verbesserung nöthig habe, so erlaube man mir, daß ich diesen Punkt, hier, bis zur besseren Erfahrung darüber übergehe." In dem zweiten Bande sagt er: „Daß gegen Ströme unter gewissen Umständen Einbaue nöthig sind, widerspreche ich keines Weges. Nur das kann ich nicht leugnen, daß dergleichen Einbaue sehr viel Circumspection sowohl in der Lage als Construction zu erfordern scheinen und daß ich aus diesem Grunde gezweifelt, ob im Ganzen genommen mehr Vortheil als Nachtheil nach den üblichen Methoden in den Flüssen damit geschafft werde." Im vierten Bande sagt er: „Es sei nun, daß man defensiv oder offensiv agire, so haben die Einbaue allemal den Nachtheil, daß sie, so lange sie über die Stromfläche hervorstehen, gegen ihre Spitzen den Strom verstärken und übermäßige Tiefen verursachen; und bei höherem Strome fällt dieser allenthalben über die Einbaue, wie über Catarracten und Wehre und zerstört wieder die etwaigen Alluvionen dahinter. Diese entstandenen Tiefen sind wieder neue Ursachen der Erhöhungen anderer Stellen der Strombahn. Ein Einbau hat dann einen anderen zur Folge und das Strombette kann nie in Beharrungszustand kommen."

Nachdem man seit länger als 20 Jahren angefangen hat, die Strecke der Mosel von Trarbach bis Coblenz auch für den

allerniedrigsten Wasserstand, ohne Anwendung von Schleusen schiffbar zu machen, erklärt Herr A, wie im § 43 mitgetheilt worden ist, daß die Wassermenge, von 1200 Cbkf. pro Secunde, welche dieser Fluß bei dem niedrigsten Wasserstand führe, nicht ausreiche, um eine Wassertiefe von 3 Fuß zu erzielen, daß vielmehr eine Wassermenge von 1500 Cbkf. erforderlich sei, auch wenn das Gefälle in den Fuhrten bis auf 0,75 Fuß auf 100 Ruthen ermäßigt und die Flußbreite auf 144 Fuß beschränkt werde. Ob die Wassermenge von 1500 Cbkf. in diesem Fall genügt, ergiebt sich, wenn x die Wassertiefe bezeichnet, aus der Gleichung

$$1500 = 2646 \cdot \frac{144 \sqrt{(0{,}75 \cdot x)}}{144 + \frac{4}{3} x} \cdot 144 \cdot x,$$

für welche näherungsweise gesetzt werden kann:

$1500 = 2646 \sqrt{(0{,}75\, x^3)} \cdot 144$; also ist $x = 2{,}75$, folglich die Wassertiefe nicht 3′, sondern nur $2\frac{3}{4}$ Fuß, wofür indeß mit Rücksicht auf Unebenheiten im Flußbette nur $2\frac{1}{2}$ Fuß gerechnet werden können.

Die dieser Tiefe entsprechende mittlere Geschwindigkeit des Wassers C, ergiebt sich aus der Gleichung

$$C = \frac{1500}{144 \cdot 2{,}75}\text{ ; folglich ist}$$

$$C = 3{,}7878 = \text{rot: } 3{,}8'.$$

Diejenige Wassermenge, welche erforderlich ist, um eine auf 144 Fuß Breite beschränkte Flußstrecke, mit einem Gefälle von 0,75 Fuß auf 100 Ruthen bis zu einer Wassertiefe von 3 Fuß zu füllen, ergiebt sich aus der Gleichung:

$$M = 2,646 \frac{144 \sqrt{(0{,}75 \cdot 3)}}{144 + 4} \cdot 144 \cdot 3.\text{ Es ist}$$

$$M = 1112 \cdot \sqrt{(2{,}25)} = 1112 \cdot 1{,}5;\text{ also}$$

$M = 1668$, wofür rot: 1700 Cbkf. zu nehmen sein dürften, um jedenfalls eine genügende Wassermenge zu haben. Statt der bei dem niedrigsten Wasserstande vorhandenen Wassermenge von 1200 Cbkf., ist also eine solche von 1700 Cbkf. erforderlich.

Jedenfalls hätte man vor länger als 20 Jahren, bei dem Beginn der Schiffbarmachung der gedachten Flußstrecke durch Berechnung ermitteln können, ob es möglich ist, dieselbe bei der ge-

gebenen Wassermenge von 1200 Cbkf. pro Secunde für den niedrigsten Wasserstand, ohne Anwendung von Schleusen schiffbar zu machen.

Obgleich die in dem vorliegenden Schriftchen niedergelegten Ansichten und ausgeführten Berechnungen mancher Verbesserungen bedürfen mögen, so habe ich doch geglaubt, eben um eine solche zu veranlassen, dieselben veröffentlichen zu sollen, da deren Berücksichtigung wenigstens vor totalen Mißgriffen bei der Schiffbarmachung der Flüsse schützen wird.

Inhalt der Fortsetzung.

§ 21. Verschiedenheit zwischen der Bewegung des Wassers und der eines festen Körpers auf einer geneigten Ebene.

§ 22. Berechnung derjenigen Wassertiefe, bei welcher auf einer waagerechten Ebene stehendes Wasser der Begrenzung durch feste Wände nicht bedarf und Entwickelung einer genaueren Constanten für die Formel des § 11.

§ 23. Die Formel des § 11 mit Berücksichtigung des Widerstandes, den die Luft darbietet. Genaue Uebereinstimmung des Resultats dieser Formel mit dem einer wirklich ausgeführten Messung.

§ 24. Der Wasserspiegel in einem Längenprofil eines Flusses kann keine gerade Linie bilden.

§ 25. Die mittlere Geschwindigkeit des fließenden Wassers kann nicht größer sein, als die mittlere eines während einer Secunde frei fallenden Körpers.

§ 26. Schrift einer Autorität in der Hydrotechnik.

§ 27. Auszug aus dieser Schrift.

§ 28. Beleuchtung der extrahirten Stelle.

§ 29. Desgl. mit Berechnung des Einflusses der Einschränkungswerke.

§ 30. Vertheilung der Geschwindigkeit.

§ 31. Vermehrung der mittleren Geschwindigkeit.

§ 32. Zwecklosigkeit der Einschränkung der Flüsse mit fester Flußsohle.

§ 33. Schluß der Beleuchtung im § 28 bis 32.

§ 34. Auszug aus der im § 26 gedachten Schrift des Herrn **A.**

§ 35. Beleuchtung des Inhalts desselben. Bedeutung des Wortes „constant."

§ 36. Beweis, daß die Behauptung des Herrn **A.** im § 34 falsch ist.

§ 37. Wie die mittlere Geschwindigkeit des Wassers nach den bekannten Formeln richtig zu berechnen ist.

§ 38. Aeußerung des Herrn **A.** über die Hebung des Wasserspiegels zwischen Einschränkungswerken.

§ 39. Beweis, daß die Auffassung unrichtig ist.

§ 40. Aeußerung Eytelweins über die Hebung des Wasserspiegels oberhalb der Einschränkungswerke.

§ 41. Eytelwein setzt die Lehren der Hydrostatik als bekannt voraus.

§ 42. Resultate der Flußregulirungen, wie sie in der That erzielt sind.

§ 43. Aeußerung des Herrn **A.** über die zu erwartenden Erfolge, wenn die Wassermenge größer wäre, als sie wirklich ist.

§ 44. In dieser Aeußerung liegt das Zugeständniß, daß die Mosel durch Einschränkung für den niedrigsten Wasserstand nicht schiffbar gemacht werden kann.

§ 45. Einfluß eines Einbaues auf das Gefälle.

§ 46. Erhöhung des Wasserspiegels oberhalb einer Buhne und Sinken desselben unterhalb.

§ 47. Berechnung der mittleren Geschwindigkeit zwischen der Buhne und dem gegenüberliegenden Ufer, der Geschwindigkeit des Wassers am Kopfe der Buhne und der am gegenüber liegenden Ufer.

§ 48 u. 49. Folgen der vermehrten Geschwindigkeit des Wassers. Besondere Erscheinungen bei außergewöhnlich hohen Wasserständen.

§ 50. Wo Buhnen mit Nutzen anzuwenden sind.

§ 51. Angabe des Grundes, weßhalb die Stauhöhe weniger groß ist, als sie Eytelwein berechnet.

§ 52. Welchen Einfluß das Wachsen und Fallen des Wassers hat.

§ 53. Weite Verbreitung der Meinung, daß sich der Wasserspiegel zwischen Einschränkungswerken hebe.

§ 54. Werth der Eytelwein'schen Formel zur Berechnung der Wassermenge.

§ 55. Richtige Anwendung der Formeln.

§ 56. Richtiger Weg zur Ermittelung der mittleren Geschwindigkeit.

§ 57. Erwägungen bei Anwendung der Formeln.

§ 58. Normalprofil eines Flusses.

§ 59. Woltmanns Ansicht über Hebung des Wasserspiegels in eingeschränkten Flüssen.

§ 60. Woltmanns Bemerkungen über Einbaue in Flüssen.

Ermittelung der Curve, welche die Zunahme der Geschwindigkeit des Wassers von der Flußsohle bis zu dem Punkte, in welchem sie das Maximum erreicht und die demnächstige Abnahme derselben bis zum Wasserspiegel darstellt.

Schluß des Schriftchens „das Gesetz der Bewegung des fließenden Wassers."

§ 61. Berechnet man nach der Formel (§ 23)

$C = 2{,}646 \frac{B \sqrt{(E \cdot H)}}{B + \frac{4}{3} H}$ die mittlere Geschwindigkeit des Wassers für Flüsse von gleichem Gefälle E, unendlich großer Breite und verschiedener Tiefe, in welchem Falle sich die Formel $C = 2{,}646 \sqrt{E} \cdot \sqrt{H}$ ergiebt, und setzt für H Zahlenwerthe, so ist

$$C_1 = 2{,}646 \sqrt{E} \cdot \sqrt{1}$$
$$C_2 = 2{,}646 \sqrt{E} \cdot \sqrt{2}$$
u. s. w.
$$C\,m = 2{,}646 \sqrt{E} \cdot \sqrt{m}$$
$$C\,n = 2{,}646 \sqrt{E} \cdot \sqrt{n}.$$

Es verhalten sich also die Geschwindigkeiten:

$$C\,m : C\,n = 2{,}646 \sqrt{E} \sqrt{m} : 2{,}646 \sqrt{E} \sqrt{n},$$

folglich $C\,m : C\,n = \sqrt{m} : \sqrt{n}$.

Trägt man die gefundenen Geschwindigkeiten als Ordinaten in den entsprechenden Wassertiefen auf eine Abscissenlinie und verbindet die Endpunkte der Ordinaten, so erhält man eine Parabel, deren Scheitelpunkt sich auf der Flußsohle befindet. Die Abnahme der Geschwindigkeit bei geringerer Wassertiefe ist also, wenn von dem Einfluß der Luft abgesehen wird, der Adhässion des Wassers an der Flußsohle oder anderen von der letzteren ausgehenden Einflüssen zuzuschreiben.

Hieraus geht zweifellos hervor, daß auch die Abnahme der Geschwindigkeit nach der Flußsohle hin, in ein und demselben Flusse, da sie denselben Einflüssen zuzuschreiben ist, demselben Gesetze unterworfen sein muß, also durch eine Parabel dargestellt werden kann, und daß der Scheitelpunkt dieser Parabel, weil die Erfahrung lehrt, daß auch auf der Flußsohle selbst Geschwindigkeit vorhanden ist, unter der Flußsohle liegen muß. Diese Parabel kann

nur mit Hülfe wirklich ausgeführter Geschwindigkeitsmessungen gefunden werden. Solche sind im Jahre 1828 durch den damaligen Wasserbaumeister Goecker, in verschiedenen Profilen der Mosel, im Regierungsbezirk Coblenz, mit großer Sorgfalt ausgeführt worden.

Obgleich die Messungen nur in drei Punkten jeder Wassertiefe, nämlich 6 Zoll unter dem Wasserspiegel, 6 Zoll über der Flußsohle und in der Mitte der Wassertiefe stattgefunden haben, läßt sich aus denselben dennoch die gesuchte Parabel herleiten.

In einer Flußstrecke mit geringem Gefälle und mäßiger Geschwindigkeit des Wassers ist bei den Resultaten der Messungen jedenfalls die größere Genauigkeit vorauszusetzen, ich wähle daher ein dieser Voraussetzung entsprechendes Flußprofil und in demselben eine Stelle, in welcher die Wassertiefe der mittleren des Profils nahe gleichkommt. In der Berechnung nehme ich die Umläufe der Welle des Woltmannschen Flügels als Verhältnißzahlen für die Geschwindigkeit auf.

Das gewählte Profil hat eine Breite von 467 Fuß, ist nicht künstlich eingeschränkt, enthält 2999,37 Quadratfuß Flächenihalt und hat eine mittlere Wassertiefe von 6,42 Fuß, die größte Wassertiefe beträgt 10,46 Fuß. Aus den bei einem Wasserstande von 2′ 6″ am Cochemer Pegel ausgeführten Messungen in 10 verschiedenen Tiefenlinien ist die Wassermenge = 4671,209 und aus dieser die mittlere Geschwindigkeit = 1,55 berechnet worden. Leider ist das Streckengefälle nicht angegeben.

Die Wassertiefe in der für die nachstehende Berechnung gewählten Stelle, an welcher die Geschwindigkeitsmessungen stattgefunden haben, ist = 7 Fuß. Die Zahl der Umläufe des Flügels ist pro Minute, in der Tiefe von 6 Zoll unter dem Wasserspiegel = 44, in der Mitte der Tiefe = 41 und 6 Zoll über der Flußsohle = 31. Wenn die Linie, welche die Wassertiefe darstellt, in 14 Theile getheilt wird, so ist jede Einheit = 6 Zoll. Wird die Verlängerung der Abscissenlinie von dem ersten Theilpunkt über der Flußsohle, bis zu dem unterhalb der letzteren liegenden Scheitelpunkt der Parabel, (conf. die beigegebene Figur) mt x bezeichnet so verhält sich:

$$\sqrt{x} : 31 = \sqrt{(x + 6)} : 41, \text{ alſo}$$
$$x : 961 = (x + 6) : 1681, \text{ folglich iſt}$$
$$x = \frac{5766}{720} = \text{rot. } 8.$$

Der Scheitel der Parabel liegt alſo um 7 Einheiten oder 3,5 Fuß unter der Sohle des Flußbettes. Die Werthe der einzelnen Ordinaten, von dem Waſſerſpiegel ab, ergeben ſich nun, wenn vorläufig der Einfluß der Luft unberückſichtigt bleibt, aus den Gleichungen

$$\sqrt{8} : 31 = \sqrt{21} : y_1$$
$$\sqrt{8} : 31 = \sqrt{20} : y_2$$
u. ſ. w.

Die hiernach berechneten Abmeſſungen der Ordinaten ſind in die graphiſche Darſtellung der Parabel, in welcher der unter der Flußſohle liegende Theil punktirt angedeutet iſt, eingeſchrieben. Die Summe derſelben beträgt 607,38. Ohne Berückſichtigung des Einfluſſes der Luft iſt alſo die Verhältnißzahl für die mittlere Geſchwindigkeit $= \frac{607{,}38}{15} = 40{,}5$. Es kann nicht zweifelhaft ſein, daß ſich die Zunahme der Geſchwindigkeit vom Waſſerſpiegel abwärts ebenfalls durch eine Parabel darſtellen läßt, deren Scheitel da liegen muß, wo die auf Abnahme wirkende Kraft zunächſt angreift, alſo im Waſſerſpiegel.

Da man die größte Geſchwindigkeit in nicht ſeichten Flüſſen, bei ruhigem Wetter, etwa einen Fuß unter dem Waſſerſpiegel gefunden hat und da ein Punkt in der Parabel bekannt iſt, nämlich der Endpunkt der in der Tiefe von 6 Zoll unter dem Waſſerſpiegel gemeſſenen Geſchwindigkeitslinie, ſo findet man die Abſciſſenlinie der zu ſuchenden Parabel, wenn man die Länge der gemeſſenen Linie von der Länge der mit derſelben zuſammenfallenden Ordinate der großen Parabel abzieht und die Differenz aus dem Endpunkte der gemeſſenen Linie, in der Richtung nach der Abſciſſenlinie der großen Parabel, zurückträgt. Dieſe Differenz iſt $= 49{,}02 - 44 = 5{,}02$ und eine durch den zuletzt gefundenen Punkt gezogene Lothrechte, die Abſciſſenlinie der kleinen Parabel,

Die zur Ordinate 5,02 gehörige Abscisse ist = 1, die Parabel ist also bekannt. Etwa 1,25 Fuß unter dem Wasserspiegel schneidet sie die große Parabel und in dem Durchschnittspunkte befindet sich die größte Geschwindigkeit.

Die Verhältnißzahlen für die Geschwindigkeiten, unter Berücksichtigung des Einflusses der Luft, sind in die graphische Darstellung übereinander eingeschrieben. Die Summe der sämmtlichen Ordinaten ist = 589,5 die Verhältnißzahl für die mittlere Geschwindigkeit also $= \frac{589,5}{15} = 39,3$.

Der Werth eines Umlaufs des Flügels in einer Minute ist = 2,25894, die mittlere Geschwindigkeit des Wassers an der Stelle, an welcher die Messung stattgefunden hat, ist also

$$= \frac{2,25894 \,.\, 39,3}{60} = 1,48 \text{ Fuß pro Secunde.}$$

Bei der graphischen Darstellung der Parabel hat, um die Längenunterschiede der Ordinate wahrnehmen zu können, für letztere ein größerer Maßstab gewählt werden müssen, als für die Abscissenlinie. Aus der Figur ergiebt sich, daß in diesem speciellen Falle die Sohle des Flußbettes um ein Drittheil der Axenlänge **D** über dem Scheitel der Parabel also 0,66 **D** unter dem Wasserspiegel liegt. Die mittlere Geschwindigkeit dagegen befindet sich in diesem speciellen Falle etwa 0,59 **H**, die größte etwa 0,18 **H** oder 0,261 **D** unter dem Wasserspiegel, wenn **H** die Wassertiefe bezeichnet. Das Gefälle hat auf die Form der Curve keinen Einfluß, da sich **E** in der oben gedachten Proportion gehoben hat; dagegen ist **H** oder **D** nicht eine lothrechte Linie, sondern eine Normale auf den Wasserspiegel. Berechnet man für eine größere Tiefe in demselben Profil aus den entsprechenden Verhältnißzahlen die Parabel, so wird der unter der Sohle liegende Theil derselben verhältnißmäßig kleiner, bei der Berchnung für eine geringere Tiefe dagegen verhältnißmäßig größer, als bei der Berechnung für die mittlere Tiefe des ganzen Profils.

Wenn die mittlere Geschwindigkeit des Wassers in einer Tiefenlinie eines Flußprofils bekannt ist, so kann man, weil die

Geschwindigkeiten bei gleichem Gefälle der Flußstrecke sich wie die Quadratwurzeln aus den Wassertiefen verhalten, die mittlere Geschwindigkeit für jede im Profil gemessene Tiefenlinie berechnen, also auch die Wassermenge und die mittlere Geschwindigkeit in dem ganzen Profil finden In der nachstehenden Tabelle, die sich auf das obengedachte Profil der Mosel bezieht, in welchem für die Tiefe von 7 Fuß die mittlere Geschwindigkeit = 1,48 ermittelt worden ist, bezeichnen die Buchstaben über den sechs Spalten: „**h** die aus den gemessenen Tiefenlinien berechnete mittlere Tiefe für eine bestimmte Breite, **b** die zugehörige Flußbreite, **f** den Flächeninhalt des Profils für die Breite **b**, **c** die zugehörige mittlere Geschwindigkeit und **m** die entsprechende Wassermenge, während **M** die Wassermenge bezeichnet, welche der Fluß führt.

h	b	f	$\sqrt{h}$	c	m
1,71	35	59,85	1,31	0,74	44,289
4,54	48	216,48	2,12	1,2	259,776
8,85	48	424,80	2,97	1,67	709,416
10,46	48	502,08	3,23	1,82	913,7856
9,68	48	464,64	3,11	1,75	813,12
8,26	48	396,48	2,88	1,62	642,2976
6,96	48	334,08	2,61	1,48	494,4384
5,82	48	279,36	2,41	1,36	379,9296
4,30	48	206,40	2,07	1,17	241,488
2,40	48	115,20	1,55	0,87	100,7642
Summa	467′	2999,37			4598,7642

Die Wassermenge **M**, die der Fluß führt, ist also = 4598,7642 Cubikfuß, der Flächeninhalt des Profils = 2999,37 Quadratfuß, also die mittlere Geschwindigkeit $= \frac{4598,7642}{2999,37} = 1,53$.

Durch wirkliche Geschwindigkeitsmessungen in den verschiedenen Tiefenlinien ist dieselbe zu 1,55 ermittelt worden. Welches Resultat das richtigere ist, bleibt zweifelhaft, indem es nicht möglich ist, die Geschwindigkeit ganz genau zu messen, das letztere Resultat also nur in dem Falle richtig sein kann, wenn die Fehler sich ausgeglichen haben.

Das durch die vorstehende Berechnung gefundene Resultat ist durch eine specielle Berechnung für alle gemessenen Tiefen und zwar für 38, also mit Berücksichtigung der Punkte am Ufer für 40 Tiefen, resp. Geschwindigkeiten, controllirt und übereinstimmend gefunden worden. Da man das Gefälle des Wasserspiegels durch Nivellement des Längenprofils mit größter Genauigkeit ermitteln kann, so dürfte es am zweckmäßigsten sein, für die mittlere Wassertiefe in einem bekannten Profil, aus dem Gefälle, die mittlere Geschwindigkeit und aus dieser die mittlere Geschwindigkeit für die übrigen gemessenen Tiefen zu berechnen und dann so zu verfahren, wie es in der oben gedachten Tabelle geschehen ist. Für die Praxis genügt es übrigens, aus der mittleren Tiefe eines nicht künstlich eingeschränkten Profils und dem Gefälle die mittlere Geschwindigkeit und die Wassermenge nach der Formel direkt zu berechnen. Selbst auf die großartigen Proportionen des Missisippi ist die obige Formel, ebenso die Eytelwein'sche anwendbar. Berechnet man die Geschwindigkeit für das in der Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 17, Seite 299 angegebene Hochwasserprofil von 4500 Fuß Breite, 80 Fuß Tiefe, mit dem Gefälle von 0,8 Zoll oder 0,0666 Fuß auf 1200 Fuß Länge, so ergiebt sich dieselbe übereinstimmend mit der Ermittelung der Herren Humphreys und Abbot nahe 6 Fuß.

Wenn die mittlere Geschwindigkeit des Wassers und die Wassermenge, welche ein Fluß bei einem bestimmten Wasserstande führt, bekannt ist, so kann man diese Größen auch für jeden andern Wasserstand berechnen, da die mittleren Geschwindigkeiten sich wie die Wurzeln aus den Wassertiefen verhalten. Selbstredend muß in beiden Fällen ein Beharrungszustand des Flusses vorausgesetzt werden.

Auch unter der alten Moselbrücke bei Coblenz sind, bei einem Wasserstande von 4 Fuß 10 Zoll am Pegel zu Cochem oder 9 Fuß 2 Zoll am hiesigen Brückenpegel, Geschwindigkeitsmessungen ausgeführt worden, die in sofern interessant sind, als sie den Einfluß der künstlichen Einschränkungen der Flüsse auf die Geschwindigkeit des Wassers erkennen lassen. So ist z. B. die An-

zahl der Umläufe des Woltenmannschen Flügels an einer $7\frac{1}{2}$ Fuß tiefen Stelle, sechs Zoll unter dem Wasserspiegel = 162, in der Mitte der Tiefe = 171 und sechs Zoll über der Sohle = 240 in der Minute beobachtet worden, woraus sich, bei dem Werthe des Umlaufs von 2,05333 die Geschwindigkeit oben = 5,54 Fuß unten = 8,21 Fuß pro Sekunde ergiebt. Aehnliche Erscheinungen wiederholen sich an anderen, selbst an seichten Stellen z. B. an einer von $2\frac{5}{12}$ Fuß Tiefe, wo die Zahl der Umläufe oben = 126, unten 144 beobachtet ist, woraus sich die Geschwindigkeiten 4,31 und 4,92 ergeben.

Zum Schluß dürfte noch anzuführen sein, daß die Geschwindigkeit des Wassers, wie sich aus der Beobachtung des auf dem Wasserspiegel schwimmenden Schaums ergiebt, von dem Uferrande nach der Mitte hin zunimmt und zwar läßt sich die Zunahme ebenfalls durch eine Parabel darstellen, deren Scheitel, da wo sich das Flußbett in derselben Neigung, wie das flach dossirte Ufer, regelmäßig senkt auf dem Wasserspiegel am Ufer, bei stärkerem Gefälle des Flußbetts aber auf dem Ufer liegt.

Im ersten Fall ist also die Geschwindigkeit am Ufer = 0, im zweiten ist auch am Ufer Geschwindigkeit vorhanden. Auch diese Parabeln können mit Hülfe der Formel graphisch dargestellt werden.

Verbesserung des § 6.

Die ersten 11 Zeilen dieses § sind in folgender Weise zu verbessern:

Je größer die Fallhöhe ist, desto größer muß auch die Geschwindigkeit sein, diese ist also vom Gefälle eines Flusses abhängig. Ebenso muß die Geschwindigkeit um so größer sein, je Größer die Wassertiefe ist, denn das Wasser fällt bis auf die Flußsohle und es würde auf dieser, die Geschwindigkeit am größten sein, wenn sich nicht ein Theil derselben bräche und dadurch sogar eine Zunahme der Geschwindigkeit von unten nach oben veranlaßt würde.

Es verhält sich daher:

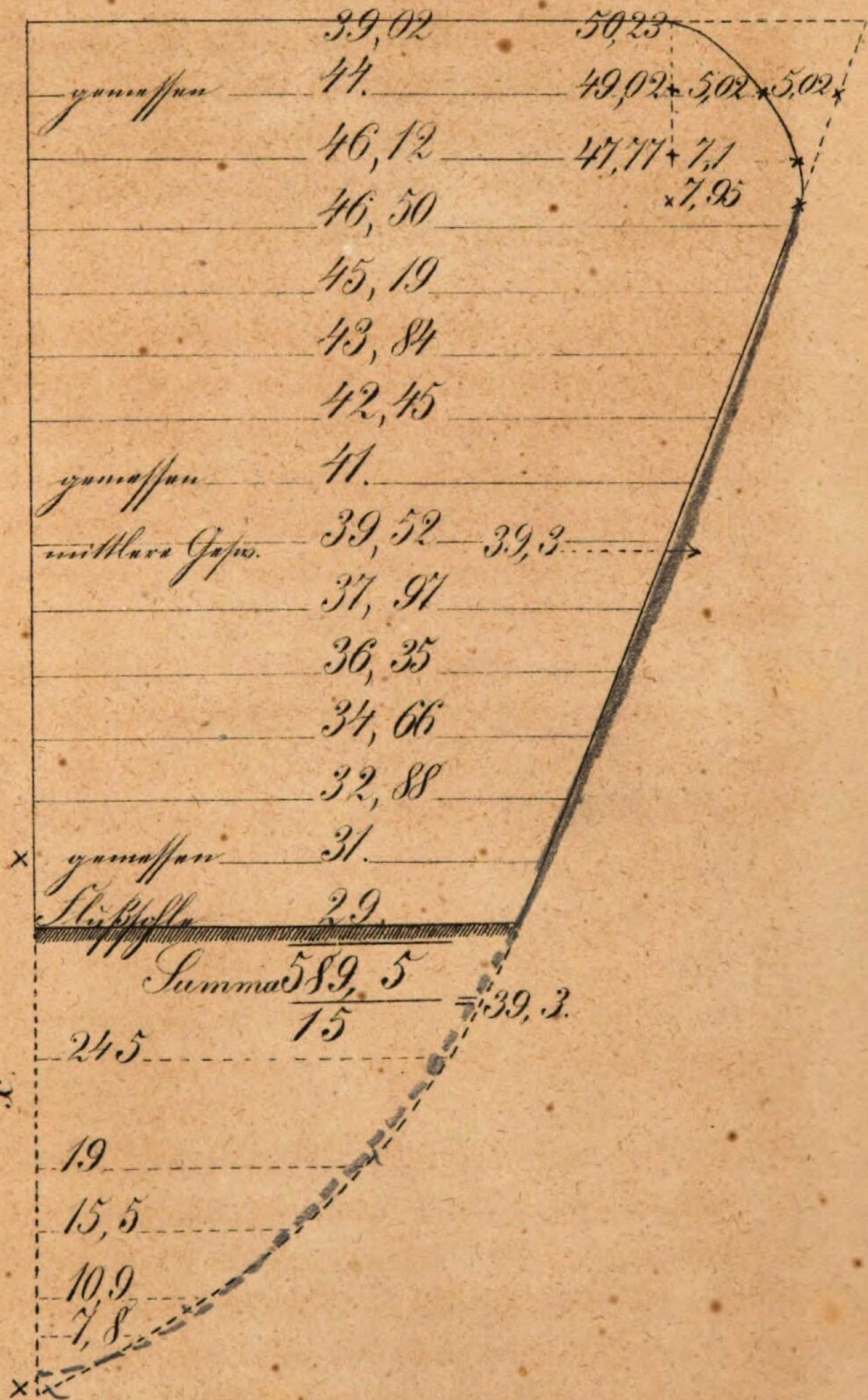
$$c : C = e : E \text{ aber auch}$$

$$c : C = h : H, \text{ also}$$

$$c^2 : C^2 = e \,.\, h : E \,.\, H, \text{ folglich}$$

$$c : C = \sqrt{(e \,.\, h)} : \sqrt{(E \,.\, H)}$$

es folgt die Zeile 5 auf Seite 9.



39,02
50,23
gemessen
44.
49,02
5,02
5,02
46,12
47,77
7,1
7,95
46,50
45,19
43,84
42,45
gemessen
41.
39,52
39,3
37,97
36,35
34,66
32,88
gemessen
31.
29.
Summa 589,5
15
= 39,3.
24,5
x.
19
15,5
10,9
7,8

Junker, ...

Das Gesetz der Bewegung des fließenden Wassers, mathematisch begründet, mit Andeutungen, wie die entwickelten Formeln zur Berechnung der Erfolge der Flußregulirungen anzuwenden sind Im Interesse des Flußbaues mitgetheilt von Junker

Coblenz 1866